

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Carlos Renan Marcondes

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA ATUALIZAÇÃO DA
NBR5419 DE 2015**

Taubaté – SP

2018

Carlos Renan Marcondes

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA ATUALIZAÇÃO DA
NBR 5419 DE 2015**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino

Taubaté – SP

2018

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

M321a Marcondes, Carlos Renan
Análise das alterações na atualização da NBR 5419 de 2015 / Carlos
Renan Marcondes. -- 2018.
94 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino, Departamento de
Engenharia Elétrica.

1. Descarga Atmosférica. 2. NBR 5419. 3. SPDA. I. Título.
II. Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica.

CDD – 537



Universidade de Taubaté
Autarquia Municipal do Regime Especial
pelo Dec. Fed. nº 78/20476
Reconhecida e Reconhecida pelo CEE/SB
CNPJ 49.176.153/0001-22

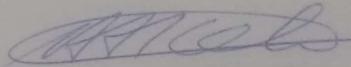
Departamento de Engenharia Elétrica
Rua Carlos Darwin s/nº - Jardim Morumbi
Taubaté - SP - 13305-440
Tel: 11 3525-4160
e-mail: eng.alex@unitau.br

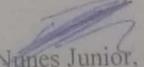
ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NA ATUALIZAÇÃO DA NBR5419 DE 2015

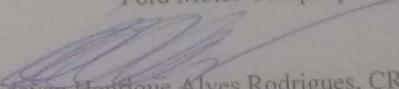
CARLOS RENAN MARCONDES

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA"

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino
Orientador/UNITAU-DEE


Eng. Paulo Lopes Nunes Júnior, CREA: 5069297424
Ford Motor Company Taubaté


Eng. Adevân Henrique Alves Rodrigues, CREA: 261447687-0
Ford Motor Company Taubaté

Dezembro de 2018

*Dedico este trabalho para minha família,
namorada, amigos, professores e a todos
que ajudaram de alguma forma na realização
deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida e sabedoria que me foi proporcionada.

Agradeço a minha família, meu pai Carlos, minha mãe Rosemeire e minha irmã Dayane que sempre estiveram ao meu lado dando atenção e toda ajuda necessária para que pudesse terminar esta etapa em minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos de faculdade, em especial ao Eliseu Faria, que compartilharam comigo este sonho de me tornar engenheiro.

Gratidão a minha namorada Juliana Camargo por estar comigo neste momento de conquista, sempre me ajudando e cobrando para que eu pudesse concluir minhas obrigações.

A todos os meus professores pelos ensinamentos, ajuda e principalmente pelo conhecimento indispensável para a minha formação no decorrer do curso.

E agradeço a todas as pessoas que de alguma forma puderam contribuir para a conclusão dessa etapa. Obrigado!

MARCONDES, C. R; **Análise das alterações na atualização da NBR5419 de 2015.** 2018. 94 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Taubaté, Taubaté, 2018.

RESUMO

Este trabalho apresenta os estudos da norma brasileira regulamentadora NBR 5419, que trata da proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, no que diz respeito às diferenças de sua versão de 2005 e a sua atualização para a versão de 2015. Esta norma trata, dentre outros importantes assuntos, dos Sistemas de Proteção contra Descargas Elétricas - SPDA. Também fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção dessas proteções em estruturas físicas, bem como de pessoas, no seu aspecto físico dentro do volume protegido. O trabalho foi fundamentado na descrição detalhada das principais mudanças que ocorreram desde sua última publicação, verificando quais as possíveis alterações nas estruturas já em funcionamento, em função das novas exigências da norma, e também em função das novas tecnologias encontradas no mercado. Dentre as mudanças, a que mais causa impactos na análise e determinação de proteções nos novos projetos de SPDA é a determinação dos riscos de um evento perigoso que pode causar perdas de vidas humanas. Foi feito um levantamento de todos os novos parâmetros para cálculos, alterações em tabelas e dimensões de estruturas para os diferentes tipos de SPDAs.

Palavras-chave: NBR 5419; descargas atmosféricas; SPDA.

MARCONDES, C. R; **Analysis of the changes in the update of the NBR5419 of 2015**. 2018. 94 f. Graduate work in Electrical Engineering - Department of Electrical and Electronic Engineering, University Taubaté, Taubaté, 2018.

ABSTRAC

This work presents the studies of Brazilian regulation NBR 5419, which deals with the protection of structures against atmospheric discharges, regarding the differences between its 2005 version and its update to the 2015 version. This standard deal, among other important subjects, with the Protection against Electric Shock - LPS. It also establishes the necessary conditions for the design, installation, and maintenance of these protections on physical structures, as well as people, on their physical appearance within the protected volume. The work was based on the detailed description of the main changes that have occurred since its last publication, verifying the possible changes in the structures already in operation, according to the new requirements of the standard, as well as the new technologies found in the market. Among the changes that most impact the analysis and determination of protections in the new projects of the LPS. is the determination of the risks of a dangerous event that can cause loss of life. A survey was made of all the new parameters for calculations, changes in tables and dimensions of structures for the different types of LPS's

Palavras-chave: NBR 5419; Lightning; LPS.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	18
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	19
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO	19
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	20
2.2 FORMAÇÃO DOS RAIOS.....	21
2.3 TIPOS DE RAIOS	22
2.4 RISCOS PARA OS SERES VIVOS E ESTRUTURAS	23
2.5 GERENCIAMENTO DE RISCO	26
2.6 NÍVEIS DE PROTEÇÕES	26
2.7 EFICIÊNCIA DO NÍVEL DE PROTEÇÃO.....	27
2.8 O CONCEITO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SPDA	27
2.8.1 SISTEMA DE CAPTORES	28
2.8.2 SISTEMA DE DESCIDA.....	29
2.8.3 ANÉIS DE CINTAMENTO	30

2.8.4 SISTEMA DE ATERRAMENTO	30
2.9 MÉTODOS SPDA	30
2.9.1 MÉTODO FRANKLIN	31
2.9.2 MÉTODO DA ESFERA ROLANTE	33
2.9.3 MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY.....	34
3. NBR 5419: 2005	37
3.1 MÉTODOS DE SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO.....	37
3.1.1 DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA REGIÃO.....	37
3.1.2 ÁREA DE EXPOSIÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO.....	39
3.1.3 ÍNDICES DE PONDERAÇÃO	39
3.1.4 AVALIAÇÃO FINAL.....	41
3.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS	42
3.2.1 SUBSISTEMA DE CAPTORES.....	42
3.2.2 SUBSISTEMA DE DESCIDA	43
3.2.3 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO.....	46
3.3 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	49
4. ABNT NBR 5419: 2015	50
4.1 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 1 PRINCÍPIOS GERAIS	51
4.1.1 DANOS DEVIDOS AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	51
4.1.2 TIPOS DE PERDAS	52

4.1.3 NECESSIDADE E VANTAGEM DA PROTEÇÃO	53
4.1.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO	54
4.1.5 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS	54
4.2 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 2 GERENCIAMENTO DE RISCO.....	55
4.2.1 DANOS E PERDAS.....	55
4.2.2 RISCOS E COMPONENTES DE RISCO	57
4.2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO	60
4.2.4 ANÁLISE DO NÚMERO ANUAL DE EVENTOS PERIGOSOS.....	61
4.2.5 AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE DANOS.....	63
4.3 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 3 DANOS FÍSICOS A ESTRUTURAS E PERIGO A VIDA.....	64
4.3.1 PROJETO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	65
4.3.2 SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	66
4.3.3 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	66
4.3.4 SUBSISTEMA DE DESCIDA	67
4.3.5 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO	68
4.3.6 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	69
4.3.7 MANUTENÇÃO, INSPEÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DE UM SPDA.....	69
4.4 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 4 SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS NA ESTRUTURA.....	70

4.4.1 PROJETO E INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS)	70
4.4.2 ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO	73
4.4.3 BLIDAGEM MAGNÉTICA E ROTEAMENTO DE LINHAS	74
4.4.4 GERENCIAMENTO DAS MPS.....	75
5. RESULTADOS.....	76
5.1 PRINCIPAIS MUDANÇAS DAS NORMAS ABNT NBR5419: 2005 E 2015	76
5.2 NECESSIDADE DE PROTEÇÃO X ANÁLISE DE RISCO	78
5.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO	80
5.3.1 MÉTODO DO ÂNGULO DE PROTEÇÃO (FRANKLIN)	80
5.3.2 MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY.....	82
5.4 SISTEMA DE ATERRAMENTO E CONDUTORES DE DESCIDA.....	82
5.5 PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS...	83
5.6 OUTRAS DIFERENÇAS APÓS ATUALIZAÇÃO DA NORMA	83
5.7 EXEMPLO DE UM PROJETO UTILIZANDO AS VERSÕES DE 2005 E 2015	85
5.7.1 PROJETO DE SPDA UTILIZANDO A ABNT NBR 5419 DE 2005: MEMORIAL DE CÁLCULO	85
5.7.2 PROJETO DE SPDA UTILIZANDO A ABNT NBR 5419 DE 2015: MEMORIAL DE CÁLCULO	87
6. CONCLUSÃO	92
REFERENCIAS.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas	24
Tabela 2 : Eficiência do nível de proteção.....	27
Tabela 3 : Posicionamento de captores conforme o nível de proteção.	32
Tabela 4 : Raio das esferas de acordo com o nível de proteção.....	33
Tabela 5 : Tamanhos máximos das malhas para o método da Gaiola de Faraday...	35
Tabela 6: Largura do módulo da malha para o método da Gaiola de Faraday.	35
Tabela 7: Fator A- Tipo de ocupação da estrutura	40
Tabela 8: Fator B- Tipo de construção da estrutura	40
Tabela 9 :Fator C- Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas	40
Tabela 10: Fator D- Localização da estrutura	40
Tabela 11 : Fator E- Topografia da região	41
Tabela 12: Posicionamento dos captores conforme nível de proteção e altura do captor	43
Tabela 13: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme o nível de proteção.....	45
Tabela 14: Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir parte substancial da corrente de descarga atmosférica	49
Tabela 15: Valores típicos de risco tolerável R_t	61
Tabela 16: Fator de localização da estrutura C_d	63
Tabela 17: Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas.....	64
Tabela 18: Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos	64
Tabela 19 : Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA da norma de 2015.....	65
Tabela 20 : Relação dos afastamentos dos condutores de malha e o espaçamento entre as descidas de acordo com a classe de SPDA.....	66
Tabela 21: Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.....	68

Tabela 22: Posicionamento dos captosres conforme nível de proteção e altura do captor	81
Tabela 23: Posicionamento de captosres conforme o nível de proteção	82
Tabela 24: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção para a versão de 2005	82
Tabela 25: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção para a versão de 2015	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descarga atmosférica	21
Figura 2: Formação de uma descarga	22
Figura 3: Tipos de descargas atmosféricas.....	23
Figura 4: Exemplo de um sistema de captação, descida e aterramento de uma estrutura	28
Figura 5: Exemplo de um sistema de captação.....	29
Figura 6: Exemplo dos sistemas de captação embutido e tipo externo.....	29
Figura 7: Exemplo do sistema de aterramento.....	30
Figura 8 : Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.....	31
Figura 9 : Exemplo de uso do método de Franklin	33
Figura 10 : Exemplo de uso do método da Esfera Rolante	34
Figura 11 : Exemplo do uso do método da Gaiola de Faraday	36
Figura 12: Mapa isocerânicos do Brasil	38
Figura 13: Área de exposição de uma estrutura retangular	39
Figura 14: Ilustração do espaçamento médio do subsistema de descida	44
Figura 15: Sistema SPDA completo de uma estrutura genérica	46
Figura 16: Comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento não naturais.....	47
Figura 17: Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419: 2015	51
Figura 18: Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos.....	53
Figura 19: Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.....	56
Figura 20: Componentes de risco a serem considerados para cada tipos de perda em uma estrutura	59
Figura 21: Componentes de Risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos	60
Figura 22: Mapa isocerânicos mostrando as diferenças de Ng das regiões Tocantins e Recife.....	62
Figura 23: Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA.....	67
Figura 24: Aplicação das classes por zonas de proteção	71
Figura 25: Exemplo das ZPR'S externas e internas.....	73

Figura 26: Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional constituído em uma rede de equipotencialização, ligada ao sistema de aterramento.....	74
Figura 27: Conexão entre as partes da NBR 5419: 2015.....	78
Figura 28: Procedimento para decisão da necessidade da proteção e selecionar as medidas de proteção.....	79
Figura 29: Volume de proteção provido por um mastro	81
Figura 30: Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA.....	81
Figura 31: Dados da estrutura e meio ambiente	88
Figura 32: Calculo de R1 e necessidade do SPDA.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
UNITAU	Universidade de Taubaté
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional
NG	Número de Descargas Atmosféricas
NDC	Frequência média anual de descargas atmosféricas
AE	Exposição equivalente
LEMP	Pulso Eletromagnético Devido às Descargas Atmosféricas
PTA	Valores das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo
PB	Valores do nível de proteção contra descargas atmosféricas
PA	Valor da probabilidade de dano
ZPR	Zona de Proteção contra Raio
MPS	Medidas de Proteção contra Surtos
LEMP	Pulso Eletromagnético da Descarga Atmosférica

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas revelam que o Brasil é o País com maior incidência de raios do mundo. Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o local onde mais ocorrem descargas atmosféricas no país é no Amazonas, com 11 milhões de registros por ano, seguido pelo Pará com 7,8 milhões e Mato Grosso, com 6,81 milhões de casos. Ao todo, o Brasil registra 57,8 milhões de raios por ano. Em segundo lugar aparece a República Democrática do Congo, com 43,2 milhões de raios e os Estados Unidos, com 35 milhões de raios por ano (INPE, 2018).

Estas descargas atmosféricas causam muitas consequências e danos como a destruição de estruturas, incêndios, queima de equipamentos elétricos, interferência nas comunicações e o pior caso, o dano a seres vivos que por ventura poder levar a morte (INPE, 2018).

E com o intuito de minimizar e combater os danos gerados pelas descargas atmosféricas foi criada a norma regulamentadora Brasileira 5419 (NBR), que fixa as condições exigíveis a um projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) de estruturas, bem como de pessoas e instalações no seu aspecto físico dentro do volume protegido.

Este trabalho foi referido totalmente a NBR 5419 da sua versão revisada e atualizada. Pretende-se avaliar as duas normas no âmbito das diferenças aplicadas as estruturas, níveis de proteção e tabelas para fins de cálculos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Dentro dos objetivos esperados a alcançar neste trabalho destacam-se:

- Estudo das normas NBR5419: 2005 e 2015, expondo as principais alterações entre elas;
- Análise dos níveis de proteção e componentes do SPDA geral.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que todos os objetivos fossem alcançados no desenvolvimento deste trabalho foram necessárias algumas etapas:

- Comparação entre as duas versões da norma NBR 5419: 2005 e 2015, destacando as principais mudanças entre os textos, utilizando como base pesquisas em notícias, artigos, revistas, opiniões de especialistas e empresas da área de SPDA.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O trabalho visa estudar NBR 5419 e as suas versões com o intuito principal de verificação das principais diferenças e adequação de estruturas antigas para a norma atualizada.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A motivação deste trabalho é mostrar a importância do correto dimensionamento do SPDA para qualquer tipo de projeto de edifícios, casas e sistemas de transmissão de energia, uma vez que falhas nos sistemas de transmissão podem causar danos na estrutura e equipamentos, além de colocar vidas em risco.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 são apresentados os objetivos do trabalho, as formas de pesquisa e como será desenvolvida a metodologia para se chegar nos resultados. No capítulo 2 são apresentados os conceitos teóricos do tema, abordando sobre a definição de descargas atmosféricas, a formação dos raios, tipos de raios e métodos de SPDA destacando o Método Franklin, o Método da esfera rolante e Método da gaiola de Faraday.

Os capítulos 3 e 4 apresentam a metodologia, ou seja, os estudos das duas normas NBR5419: 2005 e a NBR5419: 2015 destacando seus principais tópicos e comentando sobre cada um deles. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com os estudos das normas, destacando as diferenças encontradas entre as duas versões e um exemplo de aplicação de uma estrutura mostrando o projeto nas versões 2005 e 2015.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado um referencial teórico sobre o que são descargas atmosféricas, a sua formação, tipos de raios, riscos aos seres vivos e estruturas, a NBR5419, aterramento e proteção, SPDA e os métodos, níveis de proteção e avaliação de risco.

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Descarga atmosférica é definida na NBR 5419 (Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas) como uma descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de milhares de ampères. Para os leigos as descargas atmosféricas seriam os raios, apesar de tecnicamente segundo a mesma norma o raio é apenas um dos impulsos elétricos de uma descarga atmosférica para a terra.

Uma outra parte da grande energia de uma descarga atmosférica é responsável pela geração de um grande estrondo proveniente da onda de choque, conseqüente aquecimento e expansão supersônica do ar. Este efeito comumente leva o nome de trovão.

A elevação térmica em uma descarga atmosférica consegue alcançar os incríveis 30.000°C em frações de segundo e o local onde a descarga atmosférica atinge o solo é chamado de ponto de impacto. A descarga elétrica atmosférica é um fenômeno natural imprevisível e aleatório e de magnitudes também imprevisíveis, tanto em características elétricas como em efeitos destruidores quando incidindo sobre estruturas, edificações e equipamentos (UMAN, 1984).

Não existem meios práticos, de acordo com normas vigentes, que impedem a queda de uma descarga atmosférica sobre estruturas, edificações e equipamentos, sendo desta forma todas as soluções utilizadas em Sistemas de Proteção de Descargas Atmosféricas (SPDA) formas de se amenizar o efeito possivelmente destruidor de uma destas descargas atmosféricas.

Devido a sua natureza devastadora, a descarga atmosférica quando tem o ponto de impacto um ser humano ou se o ser humano estiver nas proximidades de um ponto de impacto, haverá alta probabilidade de um eletrocutamento devido

a passagem de corrente elétrica no corpo deste indivíduo, o que acarretará sérias lesões e provável morte em decorrência das grandes correntes existentes em tais fenômenos naturais. A Figura 1 apresenta uma descarga atmosférica padrão nuvem-terra (HENRIQUE MATTEDE, 2015).

Figura 1: Descarga atmosférica



Fonte: MUNDO DA ELÉTRICA (2016)

2.2 FORMAÇÃO DOS RAIOS

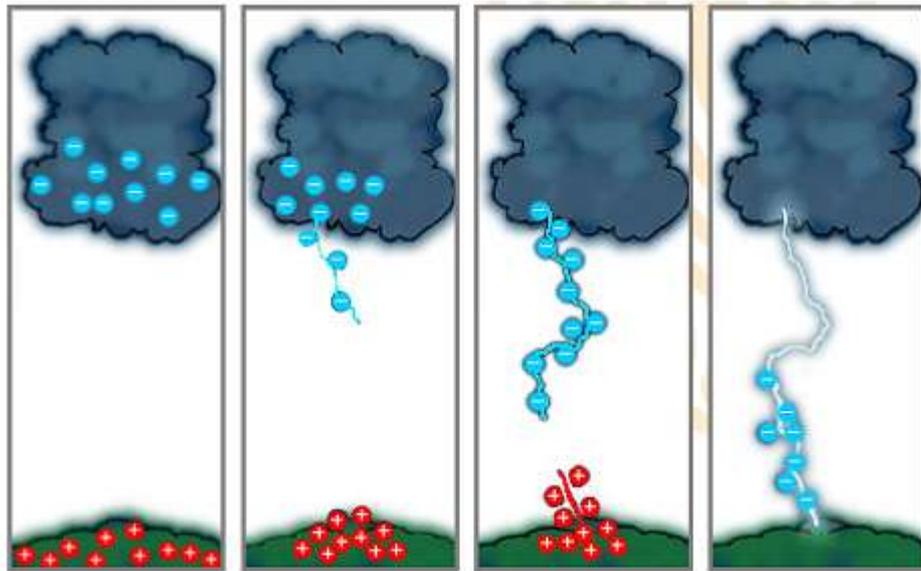
Nuvens são massas enormes cheias de moléculas de água e gases. Colisões entre as moléculas ionizam seus átomos constituintes e fazem com que uma nuvem acumule cargas elétricas positivas e negativas em grandes quantidades. Isto origina potenciais elétricos de milhões de volts entre nuvens e o solo, dentro das próprias nuvens e também entre elas (ELAT, 2016).

Quando uma nuvem de chuva, que é mais pesada do que uma nuvem normal, se aproxima do solo, o campo elétrico estabelecido entre as duas partes se torna muito mais intenso.

O isolamento proporcionado pelo ar pode não suportar esta condição e sofrer uma ruptura quase instantânea, que se manifesta através de uma descarga elétrica constituída por uma corrente de alta intensidade entre a nuvem e o solo, que é

chamado de raio. A Figura 2 mostra as etapas para a ocorrência de descargas positivas para a terra (FILHO, 2005).

Figura 2: Formação de uma descarga



Fonte: PRAZERES (2007)

2.3 TIPOS DE RAIOS

Existem quatro variedades básicas de descargas atmosféricas, classificadas de acordo com os elementos conectados (FILHO, 2005).

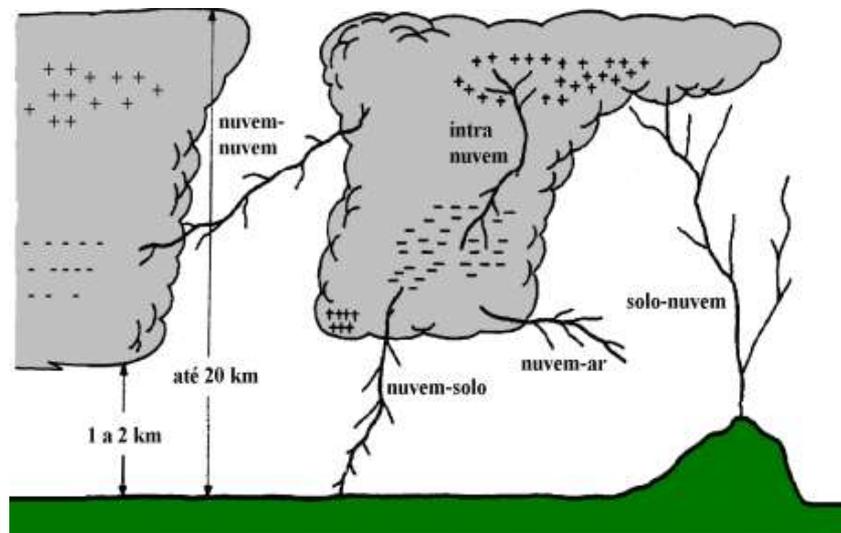
São elas:

- Intra-nuvem (quando a corrente de descarga ocorre dentro da própria nuvem);
- Entre nuvens (quando a corrente de descarga ocorre de uma nuvem para outra);
- Nuvem-estratosfera (quando a corrente de descarga ocorre da nuvem para a estratosfera);
- Nuvem-solo (quando a corrente de descarga ocorre entre nuvem e solo. Representa 20% do total das descargas atmosféricas).

Nesse último caso, existem ainda duas outras variações: quanto à polaridade (negativa ou positiva) e quanto à direção de propagação do canal (ascendente ou descendente). As descargas atmosféricas positivas são pouco frequentes, mas são

também mais intensas, mais demoradas e seus efeitos muito mais devastadores. Na descarga descendente, o canal, na maior parte do percurso, segue em direção ao solo, e na ascendente, sobe em direção à nuvem. Por isso, não é correta a ideia de que o raio “cai”. Na verdade, o canal se propaga tanto de baixo para cima quanto de cima para baixo. Aproximadamente 90% das descargas são negativas e descendentes (da nuvem para o solo). A Figura 3 apresenta todos tipos de descargas atmosféricas (FILHO, 2005).

Figura 3: Tipos de descargas atmosféricas



Fonte: PRAZERES (2007)

2.4 RISCOS PARA OS SERES VIVOS E ESTRUTURAS

Segundo a norma, a descarga atmosférica que atinge uma estrutura pode causar danos à própria estrutura e a seus ocupantes e conteúdo, incluindo falhas dos sistemas internos. Os danos e falhas podem se estender também às estruturas vizinhas e podem ainda envolver o ambiente local. A extensão dos danos e falhas na vizinhança depende das características das estruturas e das características da descarga atmosférica. A tabela 1 mostra os efeitos de uma descarga em vários tipos de estruturas (ABNT NBR 5419, 2015).

Tabela 1: Efeitos das descargas atmosféricas nos vários tipos de estruturas

Tipo de estrutura de acordo com sua finalidade e/ou conteúdo	Efeitos das descargas atmosféricas
Casa de moradia	Perfuração da isolação das instalações elétricas, incêndio e danos materiais. Danos normalmente limitados a objetos expostos ao ponto de impacto ou no caminho da corrente da descarga atmosférica.
Edificação em zona rural	Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais. Risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos, etc.
Teatro ou cinema Hotel Escola Shopping centers Áreas de esportes	Danos em instalações elétricas que tendem a causar pânico (por exemplo: iluminação elétrica). Falhas em sistemas de alarme de incêndio, resultando em atrasos nas ações de combate dos mesmos.
Banco Empresa de seguros Estabelecimento comercial	Conforme acima, adicionando-se problemas resultantes da perda de comunicação, falha de computadores e perda de dados.
Hospital Casa de tratamento médico Casa para idosos Creche Prisão	Conforme acima, adicionando-se os problemas relacionados a pessoas em tratamento médico intensivo e a dificuldade de resgatar pessoas incapazes de se mover.
Indústria	Efeitos adicionais dependendo do conteúdo das fábricas, que vão desde os menos graves até danos inaceitáveis e perda de produção

Estação de telecomunicações Estação de geração e transmissão de energia elétrica	Interrupções inaceitáveis de serviços ao público
Fábrica de fogos de artifícios Trabalhos com munição	Incêndio e explosão com consequências à planta e arredores
Indústria química Refinaria Usina nuclear Indústria e laboratório de bioquímica	Incêndio e mau funcionamento da planta com consequências prejudiciais ao meio ambiente local e global

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Os relâmpagos podem atingir as pessoas diretamente. Mesmo que as chances sejam pequenas (cerca de 1 para 1 milhão), é necessário que haja cuidados contra esses acidentes. A maioria das mortes e tragédias ocorrem pelos efeitos indiretos, que acontecem nas proximidades do local de queda de um relâmpago. Os efeitos fisiológicos da corrente elétrica associados aos relâmpagos dependem muito da área do corpo atingida e de outras condições no momento do acidente. Comumente, a corrente ocasiona sérias queimaduras, danos ao coração, aos pulmões, ao sistema nervoso central, paradas cardíacas, respiratórias e sequelas psicológicas, como diminuição da capacidade de raciocínio e distúrbios do sono. A média de mortes de pessoas atingidas, seja direta ou indiretamente, por ano no Brasil é de 100 pessoas. Não há nenhum método conhecido que evite a ocorrência de um relâmpago. Mesmo construções devidamente protegidas já sofreram esse ataque, enquanto outras desprotegidas, às vezes ao lado dessas nada sofreram (ELAT, 2016).

Descargas atmosféricas configuram uma grande ameaça para os circuitos de equipamentos ligados à rede elétrica de um estabelecimento, seja ele residencial, comercial ou industrial, que quando atingidos sem a devida proteção, podem sofrer danos irreparáveis.

Existem duas maneiras que uma descarga atmosférica pode afetar um circuito: diretamente ou indiretamente.

Quando um raio atinge o sistema de proteção de descargas atmosféricas de um prédio ou de uma linha elétrica de baixa tensão, existe uma descarga direta; já quando o raio incide em algum lugar próximo da instalação e o campo eletromagnético produzido acaba influenciando na rede elétrica do edifício, ocorre a descarga indireta (ABNT NBR 5419, 2015).

2.5 GERENCIAMENTO DE RISCO

Os tipos de estruturas devem ser avaliados pela necessidade ou não de um sistema completo de proteção contra descargas atmosféricas. A ABNT NBR 5419 de 2005 estima tal necessidade através de uma equação considerando a densidade de descargas atmosféricas para a terra por ano na região onde se localiza a estrutura, a área de exposição equivalente da estrutura, e cinco fatores de ponderação vinculados às características da edificação em questão e seus arredores (ABNT NBR 5419, 2015).

2.6 NÍVEIS DE PROTEÇÕES

A NBR5419: 2015 relaciona 4 níveis de proteção relacionados com as estruturas como relacionado abaixo:

- Nível I – Destinado às estruturas nas quais uma falha do sistema de proteção pode causar danos às estruturas vizinhas ou ao meio ambiente. Ex.: depósitos de explosivos, materiais sujeitos à explosão, material tóxico ao meio ambiente...etc.
- Nível II – Destinados às estruturas cujos danos em caso de falha serão elevados ou haverá destruição de bens insubstituíveis e/ou de valor histórico, mas em qualquer caso se restringirão à estrutura e seu conteúdo, EX.: Museus, escolas, ginásios esportivos, Estádio de futebol...etc.
- Nível III – Destinada às estruturas de uso comum, como residências, escritórios, fábricas sem risco de explosão ou de risco, ...etc.
- Nível IV – Destinadas às estruturas construídas de material não inflamável, com pouco acesso de pessoas, e com conteúdo não inflamável. EX.: depósitos em concreto, e com conteúdo não inflamável, estoque de produtos agrícolas ... etc.

2.7 EFICIÊNCIA DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

Algumas informações importantes estão apresentadas a seguir, referentes a tabela 2 que apresenta a eficiência e as porcentagens de eficiência de cada nível de proteção:

- Eficiência da interceptação: é a relação entre o número de descargas atmosféricas recebidas pelo sistema de captadores e o número médio esperado de descargas sobre a área de atração da estrutura.
- Eficiência do dimensionamento: é a relação entre o número de descarga captada pelo sistema e que não provocaram danos e o número de descarga captada pelo sistema de proteção.
- Eficiência global de um sistema de proteção: é a relação entre o número de descargas que caem sobre o sistema de proteção ou sobre a estrutura e não produzem danos a ela e o número médio esperado de descargas sobre a área de proteção da estrutura.

Tabela 2 : Eficiência do nível de proteção

Nível de proteção	Eficiência
I	98%
II	95%
III	90%
IV	80%

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

2.8 O CONCEITO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS SPDA

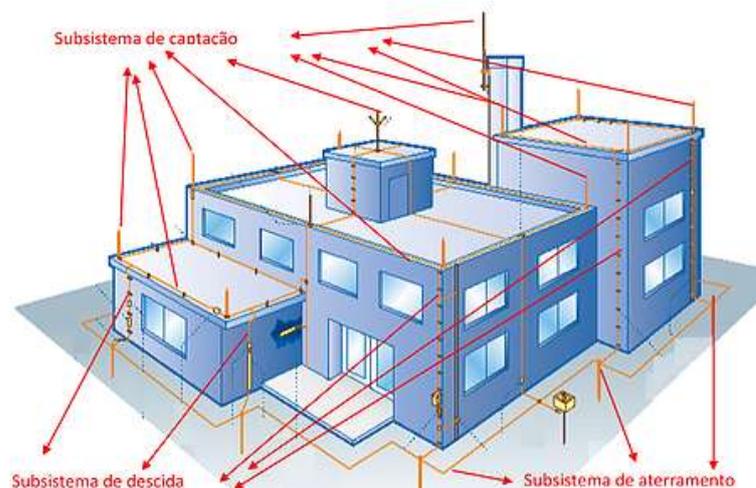
O termo SPDA significa Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas. O SPDA é um conjunto de equipamentos e dispositivos instalados nos pontos ou no ponto mais alto de uma estrutura que se pretende proteger. Estes são conectados a terra por meio de condutores metálicos.

Basicamente, o SPDA tem como seu principal objetivo direcionar e dissipar para a terra as descargas atmosféricas ocasionadas pelas nuvens eletrificadas pelo

atrito e movimentação de suas moléculas, evitando um possível dano a uma residência, uma estrutura e até mesmo às pessoas. Porém vale destacar que o SPDA não consegue evitar a ocorrência de uma descarga atmosférica, pois um raio é um evento que acontece de forma natural, além disso o SPDA não garante a total proteção da edificação e das pessoas, a sua utilização é para reduzir consideravelmente os riscos.

Um sistema proteção contra descargas atmosféricas é composto por hastes e condutores e devem ser cuidadosamente projetados para que o risco de danos seja minimizado. A figura 4 mostra um sistema completo de uma estrutura genérica (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Figura 4: Exemplo de um sistema de captação, descida e aterramento de uma estrutura



Fonte: DESTERRO ELETRICIDADE (2017)

2.8.1 SISTEMA DE CAPTORES

Tem como função receber os raios, reduzindo ao mínimo a probabilidade de a estrutura receber diretamente o raio. Deve ter a capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado no ponto de impacto, bem como os esforços eletromecânicos resultantes. Além disto, o ataque por poluentes deve ser levado em conta na hora de seu dimensionamento. A Figura 5 mostra o exemplo de uma haste padrão (VISACRO FILHO, 2005):

Figura 5: Exemplo de um sistema de captação

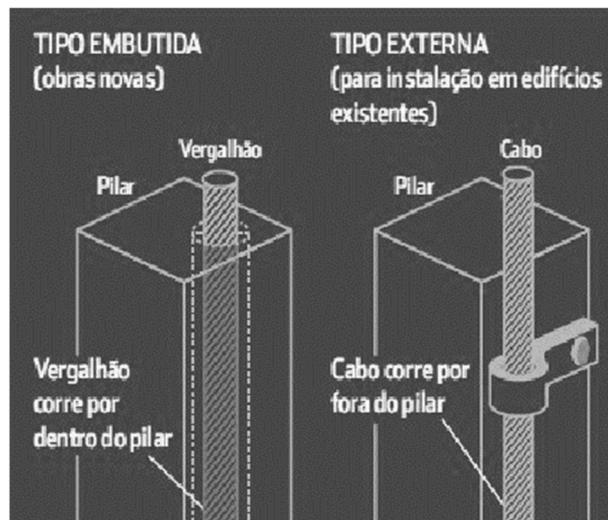


Fonte: GERALDO KINDERMANN (2016).

2.8.2 SISTEMA DE DESCIDA

Tem como função conduzir a corrente de descarga do raio recebido pelo captor até o sistema de aterramento, reduzindo ao máximo a incidência de descargas laterais e de campos eletromagnéticos no interior do volume protegido. Deve ainda ter a capacidade térmica e mecânica suficiente para suportar o calor gerado pela passagem da corrente e boa suportabilidade à corrosão. A Figura 6 representa um sistema de captação embutido e externo para a proteção contra as descargas atmosféricas (VISACRO FILHO, 2005).

Figura 6: Exemplo dos sistemas de captação embutido e tipo externo



Fonte: FILHO (2016).

2.8.3 ANÉIS DE CINTAMENTO

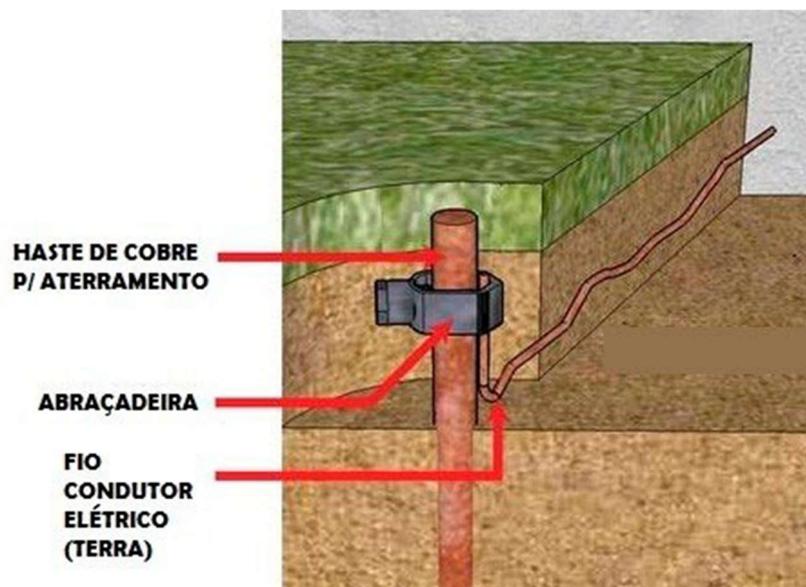
Os anéis de cintamento assumem duas importantes funções. A primeira é equalizar os potenciais das descidas, minimizando assim o campo elétrico dentro da edificação. A segunda é receber descargas laterais e distribuí-las pelas descidas.

Sua instalação deverá ser executada com espaçamento idêntico ao das descidas, interligando todas as descidas horizontalmente (VISACRO FILHO, 2005).

2.8.4 SISTEMA DE ATERRAMENTO

Tem como função dispersar no solo a corrente recebida pelos captosres e conduzidas pelos condutores até o solo, reduzindo ao mínimo o risco de ocorrência de tensões de passo e de toque, deve resistir ao calor gerado e deve resistir ao ataque corrosivo dos diversos tipos de solos. A Figura 7 representa o exemplo de um sistema de aterramento genérico (VISACRO FILHO, 2005).

Figura 7: Exemplo do sistema de aterramento



Fonte: ENSINANDO ELÉTRICA (2015)

2.9 MÉTODOS SPDA

Uma vez constatada a necessidade da proteção de uma estrutura e determinado o nível de proteção a ser utilizado, temos algumas alternativas a serem

analisadas e uma dada sequência de cálculos a serem realizados para se obter o projeto mais adequado tanto no ponto de vista técnico, como no estético e de custo.

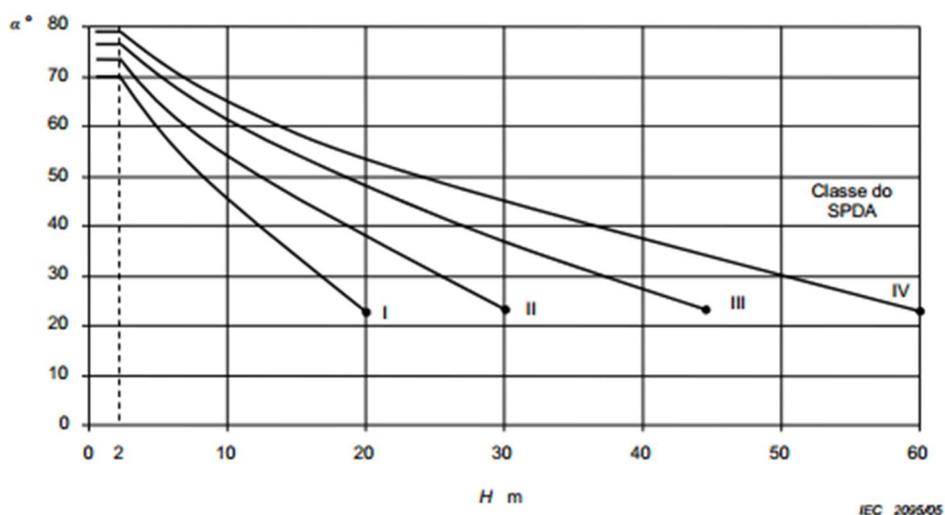
Fundamentalmente, existem três métodos válidos pela ABNT NBR 5419 para a disposição dos materiais do sistema de proteção contra descargas atmosféricas. A principal diferença entre os tipos de sistemas de proteção reside na atuação dos mesmos e a aplicabilidade de cada método depende das características gerais do volume a ser protegido (ABNT NBR 5419-3,2015).

2.9.1 MÉTODO FRANKLIN

O método de proteção por para-raios tipo Franklin consiste na utilização de um ou mais mastros com captores, de modo que todo volume da edificação a ser protegido fique dentro de uma zona espacial de proteção do sistema, no interior do cone de proteção criado pelo para-raios.

O dimensionamento por este método leva em consideração o nível de proteção e a altura da edificação para obter o ângulo de proteção dos captores em relação à posição da área de exposição analisada. A figura 8 apresenta os ângulos de proteção a serem utilizados na proteção contra descargas atmosféricas (ABNT NBR 5419-1, 2015).

Figura 8 : Ângulo de proteção correspondente à classe de SPDA.



Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

A norma NBR 5419:2005, em concordância com o Corpo de Bombeiros, estabelece os ângulos de proteção a serem utilizados, conforme Tabela 3

:

Tabela 3 : Posicionamento de captores conforme o nível de proteção.

Nível de proteção	Ângulo de proteção			
	H < 20 m	20 < H < 30 m	30 < H < 45 m	45 < H < 60 m
I	25°	-	-	-
II	35°	25°	-	-
III	45°	35°	25°	-
IV	55°	45°	35°	25°

Fonte: ABNT NBR 5419 (2015)

Em edificações com nível de proteção I, o sistema de proteção tipo Franklin somente será verificado para alturas até 20 metros (distância do captor à área de exposição). Para edificações com nível de proteção IV, pode ser utilizado para proteger até 60m de altura abaixo do captor.

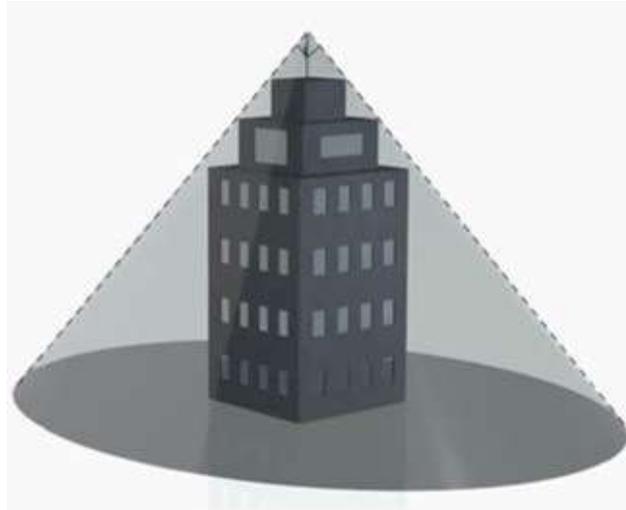
A altura obtida para determinar o ângulo de proteção do captor em relação à posição da área de exposição a ser protegida, considera:

- O nível de proteção;
- A altura do captor (informado no Cadastro de peças, dado Altura);
- A altura de lançamento do captor em relação ao pavimento;
- A soma das alturas dos pavimentos abaixo do captor analisado (exceto a Altura do próprio pavimento do captor) à área de exposição (distância do captor até a posição da área);
- A altura de lançamento da área de exposição em relação ao pavimento;
- Em edificações com altura superior ao limite indicado na norma recomenda-se utilizar os métodos eletromagnético ou gaiola de Faraday.

Com o ângulo de proteção e a distância do captor à área de exposição obtém-se o raio de proteção do cone no plano horizontal considerado. A área de exposição que estiver totalmente contida no cone de proteção será considerada atendida a

verificação para o método Franklin. A Figura 9 apresenta o exemplo do uso do método de Franklin (KINDERMANN, 1997).

Figura 9 : Exemplo de uso do método de Franklin



Fonte: SABER ELÉTRICA (2015)

2.9.2 MÉTODO DA ESFERA ROLANTE

O método de proteção eletrogeométrico consiste em fazer rodar uma esfera fictícia, com raio determinado pela norma, em todos os sentidos e direções sobre o topo e fachadas da edificação. O objetivo é fazer com que os captosres lançados impeçam que a esfera toque a edificação.

Nos locais onde essas esferas tocam a edificação, o raio (descarga atmosférica) também toca, então esses locais têm que ser protegidos, pois se o raio cair nesse local e não houver uma proteção, certamente haverá danos materiais e/ou pessoais.

As normas NBR 5419:2015 e NBR 5419:2005 estabelecem os raios das esferas de acordo com o nível de proteção utilizado, conforme Tabela 4:

Tabela 4 : Raio das esferas de acordo com o nível de proteção

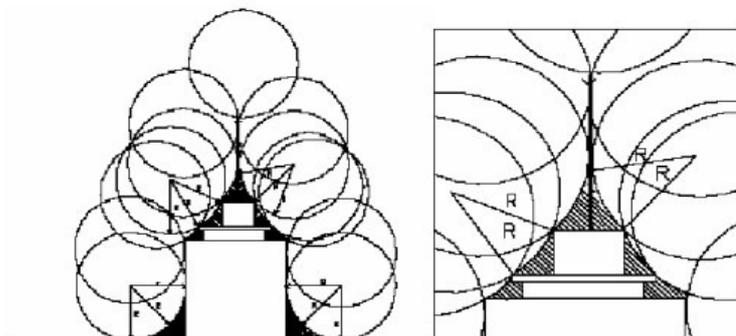
Nível	I	II	III	IV
Raio da esfera (m)	20	30	45	60

Fonte: ABNT NBR 5419-2 :2015

O método eletrogeométrico consiste em verificar as esferas (com raio definidos pelo nível de proteção), agindo nas áreas de exposição inseridas nos pavimentos e posicionando-as em conjuntos de captores de três formas, como mostra a Figura 10.

- Conjuntos de captores três a três: parte-se do pressuposto que para definir uma esfera para avaliação com as áreas de exposição são necessários 3 pontos, ou seja, 3 captores (desde que não sejam coincidentes e não colineares, que não atravessem o nível do solo, e que não haja nenhum outro captor contido dentro da mesma).
- Conjuntos de captores e solo: esferas que tocam 2 captores e o solo (desde que não sejam coincidentes, e se algum dos captores envolvidos estiver acima do centro da esfera, a fim de impedir o contato lateral com a edificação, e que não tenha nenhum outro captor contido dentro da mesma).

Figura 10 : Exemplo de uso do método da Esfera Rolante



Fonte: COUTINHO (2003).

2.9.3 MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY

O método de proteção por para-raios tipo Gaiola de Faraday consiste em instalar um sistema de captores formado por condutores horizontais interligados em forma de malha, formando uma rede modular de condutores envolvendo todos os lados do volume a proteger (cobertura e fachadas), criando assim uma espécie de "gaiola". Graças a essa disposição temos um campo elétrico nulo em seu interior, pois as cargas se distribuem de forma homogênea na parte mais externa da superfície condutora (ABNT NBR 5419, 2015).

O dimensionamento por este método leva em consideração o nível de proteção para obter as dimensões máximas das "quadrículas" que serão utilizadas na malha.

A norma NBR 5419:2015 estabelece os limites superiores máximos a serem utilizados, mostrados na Tabela 5:

Tabela 5 : Tamanhos máximos das malhas para o método da Gaiola de Faraday.

Classe do SPDA	Máximo afastamento dos condutores da malha em (m)
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Fonte: ABNT NBR 5419-2 :2015

A norma NBR 5419:2005 estabelece os limites superiores máximos a serem utilizados, conforme Tabela 6:

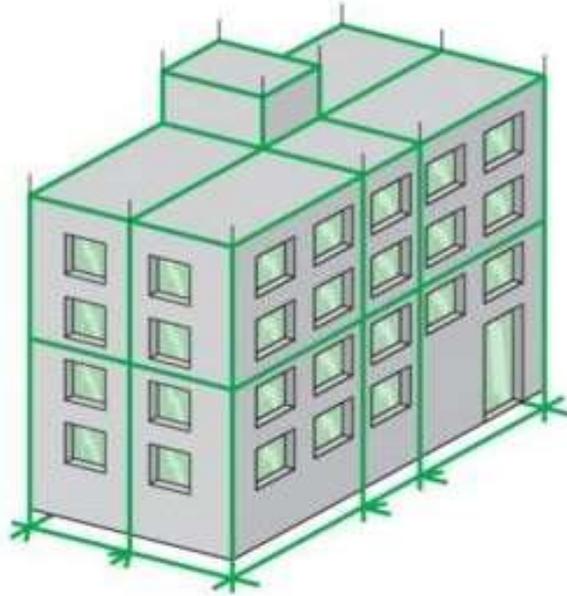
Tabela 6: Largura do módulo da malha para o método da Gaiola de Faraday.

Nível de proteção	Largura máx. da malha	Comprimento da malha	Exemplo de comprimento da malha
I	5	1 a 2 vezes a largura máxima da malha	>5,0 e >10,0
II	10		>10,0 e >20,0
III	10		>10,0 e >20,0
IV	20		>20,0 e >40,0

Fonte: ABNT NBR 5419-2:2015

Quadrículas com formatos irregulares serão analisadas considerando uma projeção retangular, formada a partir dos vértices extremos desta. Caso essa projeção esteja dentro dos limites estabelecidos, a quadrícula é considerada válida. A Figura 11 apresenta um exemplo do uso do método da Gaiola de Faraday.

Figura 11 : Exemplo do uso do método da Gaiola de Faraday



Fonte: NBR 5419 (2005).

3. NBR 5419: 2005

Esta Norma é aplicável às estruturas comuns, utilizadas para fins comerciais, industriais, agrícolas, administrativos ou residenciais, e às estruturas especiais.

As prescrições desta Norma não garantem a proteção de pessoas e equipamentos elétricos ou eletrônicos situados no interior das zonas protegidas contra os efeitos indiretos causados pelos raios, tais como: parada cardíaca, centelhamento, interferências em equipamentos ou queima de seus componentes causadas por transferências de potencial devidas à indução eletromagnética.

Esta norma não se aplica a sistemas ferroviários sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica externos às estruturas, sistemas de telecomunicação externos às estruturas, veículos, aeronaves, navios e plataformas marítimas (ABNT NBR 5419, 2005).

3.1 MÉTODOS DE SELEÇÃO DO NÍVEL DE PROTEÇÃO

Para estruturas em geral devem ser previstos se o uso de SPDA é necessário ou não. Somente estruturas de uso especiais que apresentam riscos inerentes de explosão, como o armazenamento de gases ou líquidos inflamáveis, requerem normalmente o nível mais alto de SPDA. A utilização de Proteções contra descargas atmosféricas é muitas vezes necessária, como por exemplo:

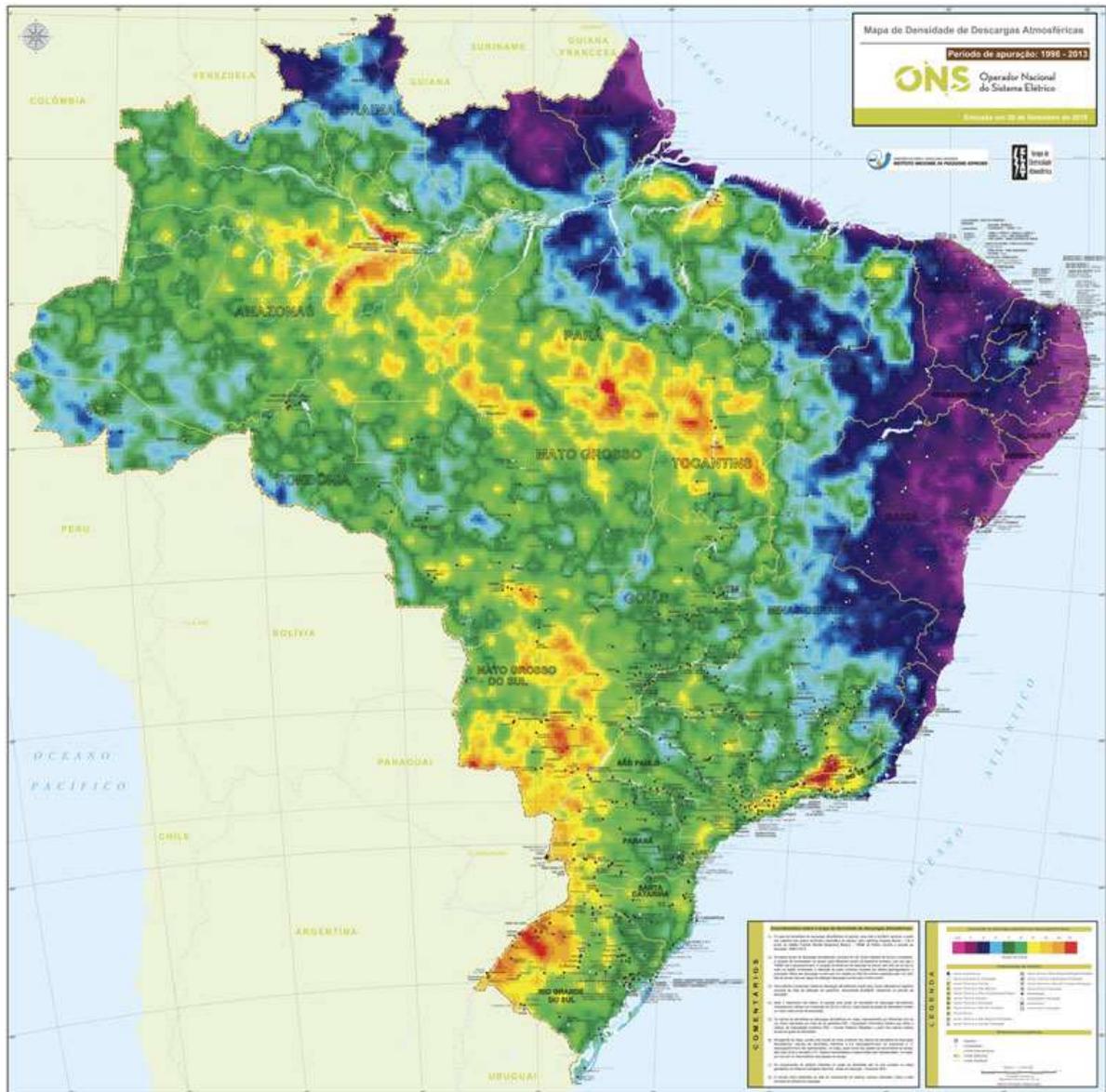
- Locais de grande afluência de público;
- Locais que prestam serviços públicos essenciais;
- Áreas com alta densidade de descargas atmosféricas;
- Estruturas isoladas, ou com altura superior a 25 m;
- Estruturas de valor histórico ou cultural.

3.1.1 DENSIDADE DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM UMA REGIÃO

A NBR 5419 de 2005 utiliza o índice ceráunico de uma região para estimar a densidade de descargas atmosféricas para a terra. Os índices ceráunicos classificam o número de dias de tempestades por ano em um dado local. Tais índices, em sua maior parte, foram obtidos ainda no início do século XX por um intermédio de

ponderações realizadas por observatórios espalhados pelo país. A Figura 12 dispõe o mapa de densidade de descargas para o território brasileiro.

Figura 12: Mapa isoceráunicos do Brasil



Fonte: ELAT (2016).

De acordo com a ABNT NBR 5419 de 2005, a densidade de descargas atmosféricas para a terra pode ser estimada pela Equação 1.

$$Ng = 0,04 \cdot Td \cdot 1,25 \quad (1)$$

Onde:

Ng é o número de raios por quilômetros quadrados ao ano ($1/\text{km}^2 \cdot \text{ano}$);

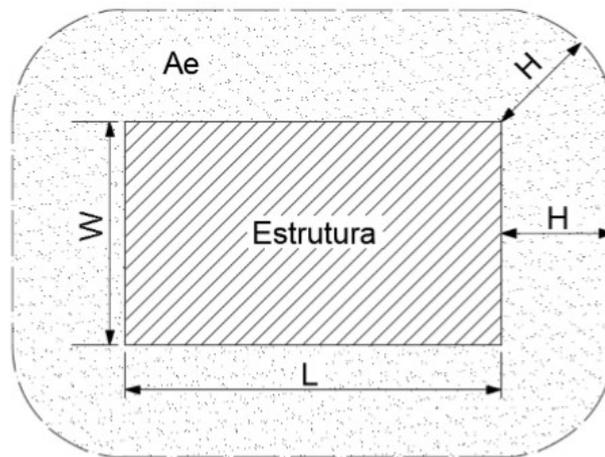
Td é o número de dias de trovoadas por ano, obtido no mapa.

3.1.2 ÁREA DE EXPOSIÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO

A área de exposição de uma estrutura, leva em conta suas dimensões em todas as direções. Conforme a ABNT NBR 5419 de 2005 se considera que a área de exposição equivalente de uma edificação retangular simples é regida pela Equação 2. A Figura 13 representa a área de exposição de uma estrutura genérica retangular.

$$Ae = L \cdot W + 2 \cdot H \cdot (L + W) + \pi \cdot H^2 \quad (2)$$

Figura 13: Área de exposição de uma estrutura retangular



Fonte: ABNT NBR 5419 (2005)

Onde:

Ae é a área equivalente da estrutura em metros quadrados (m^2);

L é o comprimento da estrutura em metros (m);

W é a largura da estrutura em metros (m);

H é a altura da estrutura em metros (m).

3.1.3 ÍNDICES DE PONDERAÇÃO

Os fatores de proteção denotam a importância relativa do risco em cada caso. Não só os danos materiais sobre a estrutura são levados em consideração nos

fatores de ponderação, como também a interrupção de serviços nela existentes. Os fatores estão dispostos nas tabelas 7 a 11 (ABNT NBR 5419, 2005).

Tabela 7: Fator A- Tipo de ocupação da estrutura

Tipo de ocupação	Fator A
Casas	0,3
Casas com antenas externas	0,7
Fábricas e laboratórios	1
Escritórios, hotéis, apartamentos	1,2
Shopping, estádios, exposições	1,3
Escolas e Hospitais	1,7

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

Tabela 8: Fator B- Tipo de construção da estrutura

Material de construção	Fator B
Metal revestido, não metálico	0,2
Concreto cob. não metálico	0,4
Metal ou Concreto cobertura metálica	0,8
Alvenaria	1
Madeira	1,4
Alvenaria ou madeira com cob. metálica	1,7
Cobertura de palha	2

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

Tabela 9 :Fator C- Conteúdo da estrutura e efeitos indiretos das descargas atmosféricas

Conteúdo	Fator C
Comum, sem valor	0,3
Sensível a danos	0,8
Subestação, gás, Telecom.	1
Museu e monumentos	1,3
Escolas e hospitais	1,7

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

Tabela 10: Fator D- Localização da estrutura

Localização	Fator D
Rodeado por árvores ou estruturas	0,4
Semi-isolada	1
Isolada	2

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

Tabela 11 : Fator E- Topografia da região

Topografia	Fator E
Planície	0,3
Colina	1
Montanha, 300 a 900 m.	1,3
Montanha acima de 900 m.	1,7

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

3.1.4 AVALIAÇÃO FINAL

A avaliação do projetista na versão predecessora da ABNT NBR 5419 é realizada por um simples produto apresentado pela Equação 3, que leva em conta basicamente parâmetros regionais e civis da edificação avaliada.

$$Ndc = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \cdot FA \cdot FB \cdot FC \cdot FD \cdot FE \quad (3)$$

Onde:

- Ndc é a o valor ponderado da frequência média anual de danos prevista para uma estrutura, expresso em descargas atmosféricas para a terra por ano (1/ano);
- Ng é a densidade de descargas atmosféricas para a terra na região onde se encontra a edificação, expressa em descargas atmosféricas para a terra por quilômetro quadrado ao ano (1/km².ano);
- Ae é a área de exposição equivalente da edificação, expressa em metros quadrados (m²);
- $Fi, i \in \{A, B, C, D, E\}$, é o fator de ponderação dependente do tipo e localização da estrutura.

A necessidade ou não da instalação de um SPDA para a estrutura depende do valor de resultante da ponderação descrita na Equação 6. Os limites de riscos reconhecidos pela comunidade técnica internacional são:

- Riscos maiores que 10^{-3} são considerados inadmissíveis, confirmando a necessidade de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- Para riscos entre 10^{-5} e 10^{-3} requer um acordo entre o projetista e o usuário para a conveniência da instalação do sistema de proteção contra descargas atmosféricas;

- Quando os riscos são inferiores a 10^{-5} , a estrutura dispensa um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

3.2 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

A ABNT NBR 5419: 2005 especifica os critérios da construção de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas, especificando o dimensionamento dos materiais utilizados, os métodos utilizados tanto na área externa quanto na área interna do volume protegido.

3.2.1 SUBSISTEMA DE CAPTORES

No projeto do subsistema de captadores, podem-se utilizar os seguintes métodos de proteção já estabelecidos nesta norma: ângulo de proteção (método de Franklin), esfera rolante (modelo eletrogeométrico) ou condutores em malha (gaiola de Faraday).

Alguns aspectos da construção do subsistema de captação das descargas atmosféricas a serem respeitados são:

- Para um SPDA isolado, a distância entre o subsistema captador e instalações metálicas do volume a proteger deve ser maior que 2 m;
- Para um SPDA não isolado do volume a proteger, o subsistema captador pode ser instalado diretamente sobre o teto ou a uma pequena distância, desde que a corrente de descarga não possa causar qualquer dano, o que pode ocorrer se o material for inflamável;
- No topo das estruturas, em especial naquelas com altura superior a 10 m, recomenda-se instalar um captador em forma de anel, disposto ao longo de todo perímetro. Este captador não deve estar situado a mais de 0,5 m da borda do perímetro superior da edificação. Esta recomendação é suplementar e não exclui a necessidade de outros captadores, quando determinada pelo projeto.

Os captadores podem ser constituídos por uma combinação de hastes, cabos esticados, condutores em malha e elementos naturais, mas para um correto posicionamento destes, deve-se observar alguns requisitos. A tabela 12 apresenta o posicionamento dos captadores conforme nível de proteção e altura do captador.

Tabela 12: Posicionamento dos captosres conforme nível de proteção e altura do captor

Ângulo de proteção (alfa), método Franklin, em função da altura do captor(h)e do nível de proteção							Largura do modulo da malha(m)
Nível de proteção	h/R (m)	0-20 m	21m-30m	31m-45m	46m-60m	>60m	
I	20	25°	*	*	*	**	5
II	30	35°	25°	*	*	**	10
III	15	45°	35°	25°	*	**	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	**	20

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

Obs. R: Raio da esfera rolante

* Aplicam-se somente os métodos eletrogeométrico, malha ou gaiola de Faraday;

** Aplicam-se somente o método da gaiola de Faraday.

3.2.2 SUBSISTEMA DE DESCIDA

Os subsistemas de descida poderão ser de dois tipos: os isolados no qual os condutores de descida são instalados suficientemente afastados do volume a proteger, de modo a reduzir a probabilidade de centelhamento e os não isolados em que os condutores de descidas são instalados de modo que o trajeto da corrente da descarga atmosférica pode estar em contato com o volume a proteger.

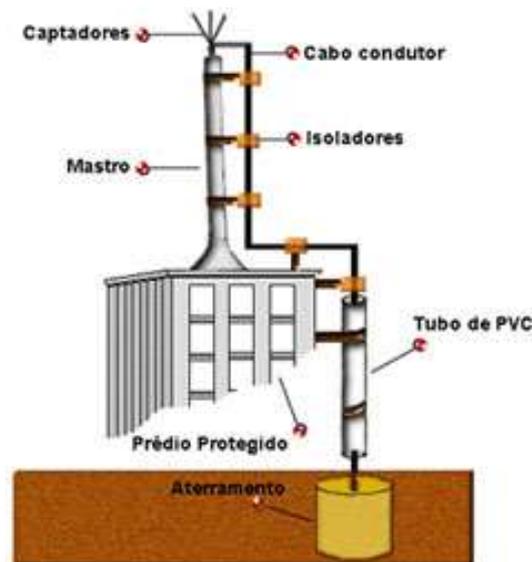
Para um SPDA isolado e dependendo do tipo de subsistema captor são previstas quantidades mínimas de condutores de descida:

- Um ou mais mastros separados - um condutor de descida para cada mastro (não condutor);
- Um ou mais condutores horizontais separados - um condutor de descida na extremidade de cada condutor horizontal;
- Rede de condutores - um condutor de descida para cada estrutura de suporte (não condutora).

A instalação dos condutores de descida deve levar em consideração o material da parede onde os mesmos serão fixados: se a parede for de material não inflamável, os condutores de descida podem ser instalados na sua superfície ou embutidos na mesma. Se a parede for de material inflamável e a elevação de temperatura causada pela passagem da corrente de descarga atmosférica não resultar em risco para este material, os condutores de descida podem ser instalados na sua superfície. Se a parede for de material inflamável e a elevação de temperatura dos condutores de descida resultar em risco para este material, a distância entre os condutores e o volume a proteger deve ser de no mínimo 10 cm (os suportes metálicos dos condutores de descida podem estar em contato com a parede).

O espaçamento entre os condutores de descida e as instalações metálicas do volume a proteger deve ser não inferior a 2 m. A figura 14 apresenta uma Ilustração do espaçamento médio do subsistema de descida.

Figura 14: Ilustração do espaçamento médio do subsistema de descida



Fonte: FILHO (2005).

Já para um posicionamento das descidas para os SPDA não isolados, os condutores de descida devem ser distribuídos ao longo do perímetro do volume a proteger, a tabela 13 apresenta os espaçamentos médios dos condutores de descida não naturais conforme o nível de proteção.

Tabela 13: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme o nível de proteção

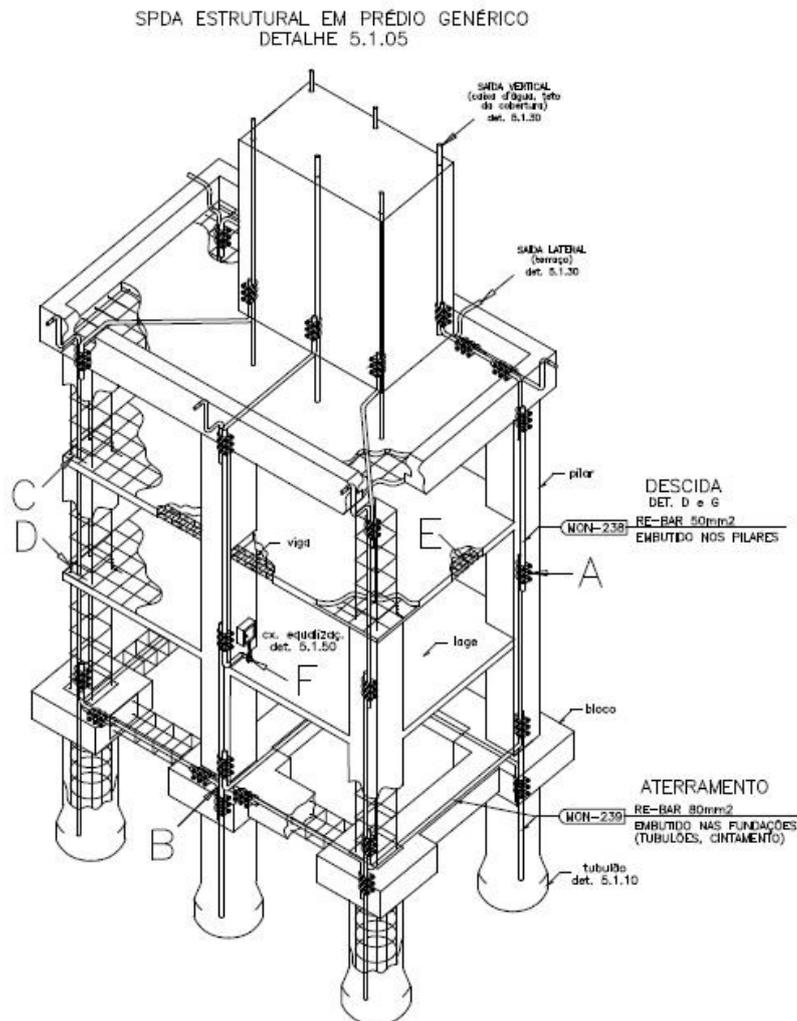
NÍVEL DE PROTEÇÃO	ESPAÇAMENTO MÉDIO EM METROS
I	10
II	15
III	20
IV	25

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005)

NOTAS:

- A distância média entre condutores de descida está relacionada com a distância de segurança. Se os espaçamentos médios forem maiores que os especificados na Tabela 13, as distâncias de segurança podem resultar consideravelmente aumentadas.
- Os condutores de descida devem ser, na medida do possível, espaçados regularmente em todo o perímetro, devendo ser instalado, sempre que possível, um condutor de descida em cada vértice da estrutura.
- Em estruturas cobrindo grandes áreas com larguras superiores a 40 m, são necessários condutores de descida no interior do volume a proteger (requisito que será naturalmente atendido no caso de estruturas, a Figura 15 apresenta um sistema SPDA completo de uma estrutura genérica.

Figura 15: Sistema SPDA completo de uma estrutura genérica



Fonte: KINDERMANN (2002).

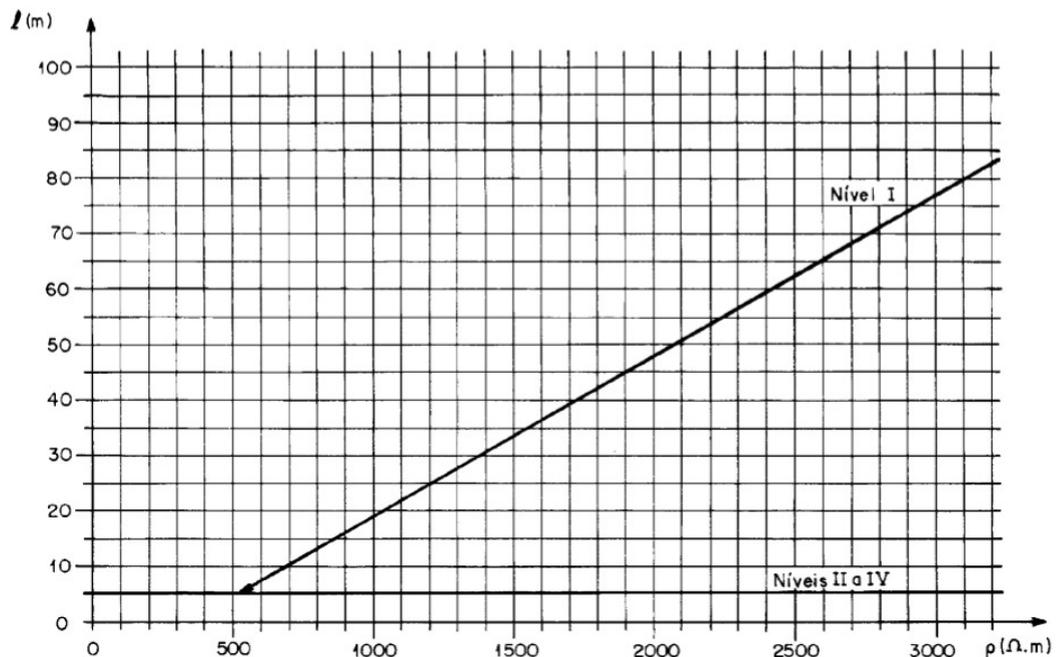
3.2.3 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

O último componente do SPDA, o subsistema de aterramento, deve-se prever um único aterramento integrado a estrutura e que seja adequado a todas as finalidades, ou seja, a proteção contra o raio, sistemas de baixa tensão e sistemas de sinal. Para assegurar a dispersão da corrente de descarga atmosférica na terra sem causar sobretensões perigosas, o arranjo e as dimensões do subsistema de aterramento são mais importantes que o próprio valor da resistência de aterramento. Entretanto, recomenda-se, para o caso de eletrodos não naturais, uma resistência de aproximadamente 10Ω , como forma de reduzir os gradientes de potencial no solo e

a probabilidade de centelhamento perigoso. No caso de solo rochoso ou de alta resistividade, poderá não ser possível atingir valores próximos dos sugeridos. Nestes casos a solução adotada deverá ser tecnicamente justificada no projeto.

Para uma utilização de eletrodos não naturais, devem ser instalados vários eletrodos adequadamente distribuídos. O comprimento total dos eletrodos de aterramento, conforme o nível de proteção e para diferentes resistividades do solo, é dado na figura 16, respeitadas o arranjo e as dimensões do subsistema.

Figura 16: Comprimento mínimo dos eletrodos de aterramento não naturais.



Fonte: ABNT NBR 5419 (2005)

Os seguintes tipos de eletrodo de aterramento podem ser utilizados:

- Aterramento natural pelas fundações, em geral as armaduras de aço das Fundações; Condutores em anel;
- Hastes verticais ou inclinadas;
- Condutores horizontais radiais.

Já nos eletrodos naturais, armaduras de aço embutidas nas fundações das estruturas, são utilizados como eletrodos de aterramentos, porem devem seguir algumas condições:

- As armaduras de aço das estacas, dos blocos de fundação e das vigas baldrame devem ser firmemente amarradas com arame recozido em cerca de 50% de seus cruzamentos ou soldadas. As barras horizontais devem ser sobrepostas por no mínimo 20 vezes o seu diâmetro, e firmemente amarradas com arame recozido ou soldadas;
- Em fundação de alvenaria pode servir como eletrodo de aterramento, uma barra de aço, com diâmetro mínimo de 8 mm, ou uma fita de aço de 25 mm x 4 mm, disposta com a largura na posição vertical, formando um anel em todo o perímetro da estrutura. A camada de concreto que envolve estes eletrodos deve ter uma espessura mínima de 5 cm;
- As armaduras de aço das fundações devem ser interligadas com as armaduras de aço dos pilares da estrutura, utilizados como condutores de descida naturais, de modo a assegurar continuidade elétrica equivalente.
- O eletrodo de aterramento natural assim constituído deve ser conectado à ligação equipotencial principal do sistema interno, através de uma barra de aço com diâmetro mínimo de 8 mm ou uma fita de aço de 25 mm x 4 mm;
- No caso de se utilizarem as armaduras como constituintes do SPDA, sempre que possível, deve ser prevista a avaliação do aterramento da edificação, por injeção de corrente através da terra, entre a barra TAP, desligada da alimentação exterior, e um eletrodo externo ao edifício.

Conforme a ABNT NBR 5419 de 2005 a disposição dos eletrodos de aterramento não naturais pode ser realizada por dois arranjos, arranjo A e arranjo B.

O arranjo A é composto de eletrodos radiais e é indicado para solos de baixa resistividade (até 100 Ω .m) e para pequenas estruturas (com perímetro até 25 metros). Cada condutor de descida deve ser conectado a pelo menos um eletrodo distinto e devem ser instalados no mínimo dois eletrodos que não devem ter comprimento inferior ao estabelecido pela Figura 13 dependendo do nível de proteção. Para solos com resistividade inferior a 30 Ω .m, os comprimentos podem ser desconsiderados se a resistência de aterramento equivalente for inferior a 10 Ω (ABNT NBR 5419, 2005).

O arranjo B é composto por eletrodos em forma de anel ao redor da edificação ou embutido nas fundações da estrutura e é obrigatório a utilização deste arranjo para estruturas com perímetro superior a 25 metros (ABNT NBR 5419, 2005).

3.3 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Quando uma estrutura é atingida por uma descarga atmosférica, pode apresentar nesta riscos de incêndio, explosão e choques elétricos dentro do volume protegido pelo SPDA, devido ao alto valor da corrente Elétrica que percorre os componentes dos sistemas de proteção. Por isso a ABNT 5419: 2005 prevê a equalização de todos os elementos metálicos da estrutura, como as instalações elétricas e sinais de telecomunicações no interior da estrutura.

A equalização de potencial é obtida mediante condutores de ligação equipotencial, eventualmente incluindo DPS (dispositivo de proteção contra surtos), interligando o SPDA, a armadura metálica da estrutura, as instalações metálicas, as massas e os condutores dos sistemas elétricos de potência e de sinal, dentro do volume a proteger.

Uma ligação equipotencial desse ser feita no subsolo ou próximo ao quadro geral de força. Os condutores de ligação equipotencial devem ser conectados a uma barra de ligação principal, construída e instalada de modo a permitir fácil acesso para inspeção e deve ser conectada junto ao subsistema de aterramento, eles devem suportar toda a corrente da descarga atmosférica ou parte dela e para isso a seções mínimas devem seguir a tabela 14.

Tabela 14: Seções mínimas dos condutores de ligação equipotencial para conduzir parte substancial da corrente de descarga atmosférica

Nível de proteção	Material	Seção mm ²
I - IV	Cobre	16
	Alumínio	25
	Aço	50

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005).

4. ABNT NBR 5419: 2015

As normas técnicas são documentos que visam a fornecer os requisitos mínimos essenciais para garantir o funcionamento, operação e a segurança tanto dos produtos quanto de instalações e de pessoas. Desde o final de 2005 o texto da NBR 5419 vem sendo revisado, baseado no texto da IEC 62305, no âmbito de aprimorar a proteção contra descargas atmosféricas. Essas revisões resultaram em um texto bastante completo, onde foram acrescentados vários assuntos, inexistentes na antiga versão. Esta nova revisão a ABNT NBR 5419: 2015 entrou em vigor em 22 de junho de 2015 e trouxe quatro cadernos e mais de trezentas páginas, fruto do agrupamento de várias normas relacionadas ao assunto proteção contra descargas atmosféricas, inclusive a proteção de ambientes e equipamentos contra os efeitos indiretos dos raios.

Esta nova norma foi dividida em 4 partes.

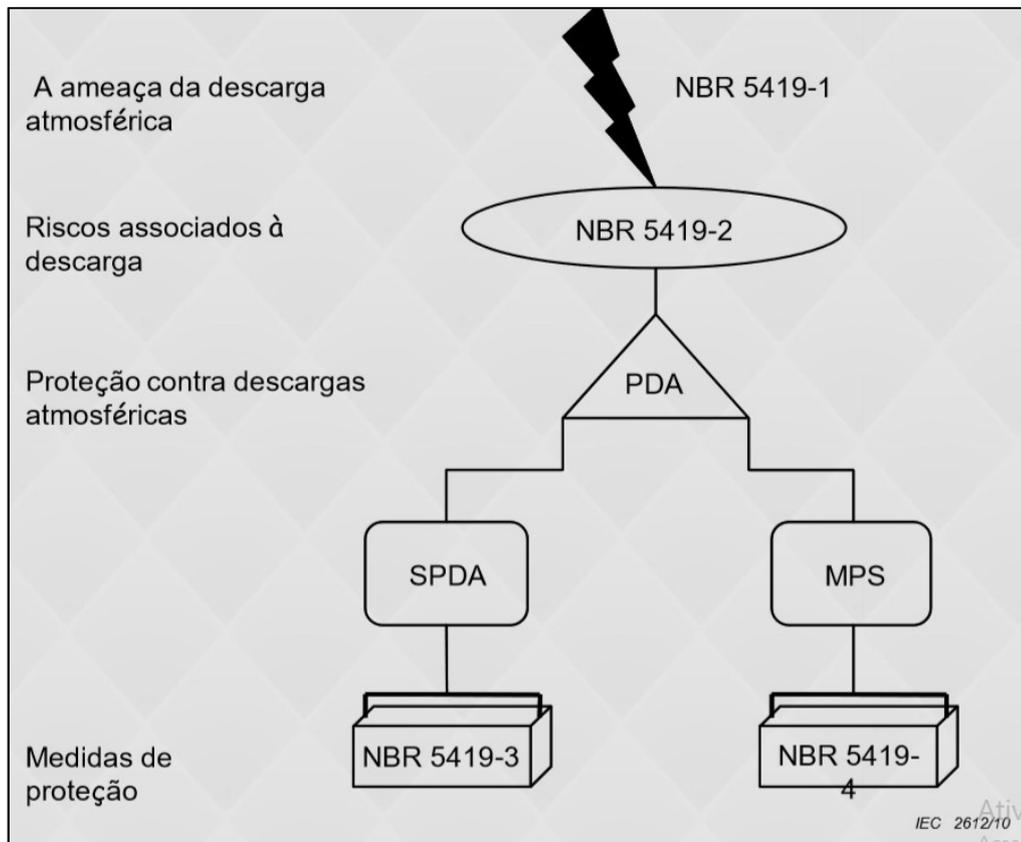
A primeira parte da norma trata de premissas gerais a serem consideradas para o projeto de SPDA e Aterramento.

A segunda parte estabelece os requisitos para análise de risco do projeto de SPDA e Aterramento, não apenas para definição do nível de proteção da instalação, mas trazendo diretrizes sobre medidas de proteção que devem ser tomadas para uma proteção mais efetiva de pessoas e instalações.

A terceira parte conserva boa parte do escopo geral da norma antiga, aplicável a projetos, instalação, inspeção e manutenção do SPDA e Aterramento, além de medidas mitigadoras para controlar tensão de toque e passo proveniente de descargas atmosféricas.

A quarta parte da norma trata basicamente de aspectos gerais ligados à compatibilidade eletromagnética e medidas de proteção contra surtos atmosféricos para equipamentos elétricos e eletrônicos, nas fases de projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaio. A figura 17 apresenta as conexões entre as partes da ABNT NBR 5419: 2015.

Figura 17: Conexões entre as partes da ABNT NBR 5419: 2015



Fonte: ABNT NBR 5419-1(2015)

4.1 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 1 PRINCÍPIOS GERAIS

Esta primeira parte da ABNT 5419: 2015 estabelece os requisitos para a determinação de proteção contra descargas atmosféricas e fornece o suporte para os projetos de SPDA. Porém a aplicabilidade desta norma pode apresentar algumas restrições na proteção da vida humana quando o assunto tratado for efeitos indiretos de descargas atmosféricas.

Esta parte também não se aplica a proteção sistemas ferroviários, veículos, aviões e plataformas, tubulações subterrâneas de alta pressão e linhas de energia e de sinais fora do perímetro de uma estrutura protegida.

4.1.1 DANOS DEVIDOS AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Uma descarga atmosférica após atingir uma estrutura pode estar causando danos a ela mesmo e ou aos materiais e pessoas dentro do volume. Dependendo da

intensidade da descarga atmosférica, estruturas vizinhas também podem sofrer parte dos danos, inclusive o meio ambiente.

Os danos provenientes das descargas atmosféricas em estruturas na área urbana, podem ser separados pelas suas características da estrutura, como o tipo de construção (madeira, alvenaria, concreto), a função da estrutura (uma igreja , uma prisão , um shopping center ou até uma fábrica), os ocupantes e conteúdo do volume (pessoas, animais, presença ou não de materiais explosivos).

Algumas situações devem ser levadas em consideração quando ocorre uma descarga atmosférica como por exemplo se a descarga aconteceu diretamente na estrutura ou se aconteceu próximo a estrutura, se a descarga atmosférica aconteceu diretamente sobre linhas elétricas ou tubulações metálicas ou próximo.

As consequências de uma descarga podem ser as mais variadas, dependendo da intensidade da corrente da descarga que é a principal fonte de danos:

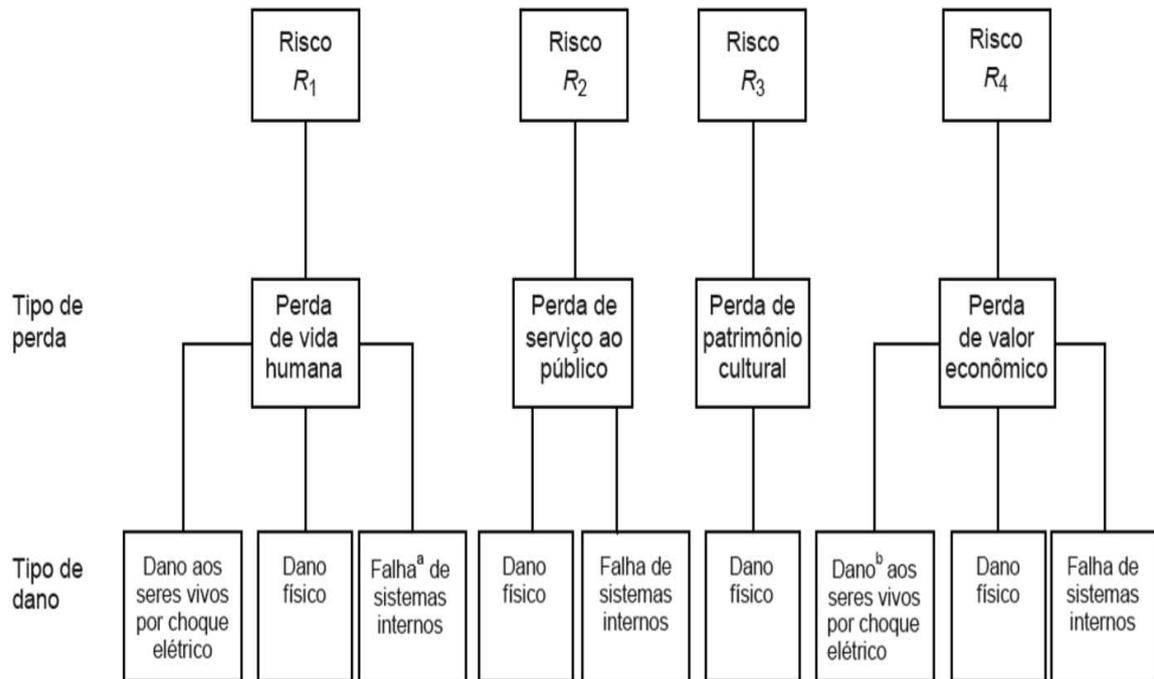
- Danos mecânicos imediatos como fogo ou explosão devido ao choque da descarga atmosférica ou devido a corrente pelo aquecimento instantâneo;
- Fogo ou explosão iniciado pelo centelhamento devido a sobretensões;
- Danos as pessoas por choque elétrico;
- Falha de sistemas elétricos internos.

4.1.2 TIPOS DE PERDAS

Cada tipo de descarga atmosférica produz um efeito quando em contato com diferentes tipos de estruturas. Segundo a NBR 5419: 2015 são considerados 4 principais tipos de perdas e a figura 18 apresenta de forma esquematizada os riscos e perdas:

- L1: perda de vida humana (incluindo-se danos permanentes);
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de património cultural;
- L4: perda de valor económico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades).

Figura 18: Tipos de perdas e riscos correspondentes que resultam de diferentes tipos de danos



Fonte: ABNT NBR 5419-1(2015)

4.1.3 NECESSIDADE E VANTAGEM DA PROTEÇÃO

A necessidade de um objeto ou estrutura ser protegido contra as descargas atmosféricas deve ser avaliada de modo a tentar reduzir as perdas de vida humana, perdas dos serviços públicos que são entendidos por serviços de água, gás, energia, sinais de TV, telecomunicações e patrimônio cultural. Para se avaliar quando uma proteção contra descargas atmosféricas é necessária ou não, deve ser feita uma avaliação do risco de acordo com os procedimentos contidos na ABNT NBR 5419-2.

Além da necessidade de proteção contra descargas atmosféricas para a estrutura a ser protegida, pode ser vantajoso avaliar os benefícios econômicos de se adotar medidas de proteção de modo a reduzir a perda econômica L_4 , para isso o risco R_4 deve ser avaliado para poder ter uma base do custo da perda econômica quando não for adotado uma medida de proteção.

A proteção contra descargas atmosféricas é conveniente quando se faz a soma do custo das perdas residuais na presença de medidas de proteção e o custo das medidas de proteção for menor que o custo total da perda sem a medida de proteção.

4.1.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO

Algumas medidas de proteção podem ser adotadas para se tentar diminuir o risco de acordo com os tipos de danos

- Isolação adequada das partes condutoras expostas;
- Equipotencialização por meio de um sistema de aterramento em malha;
- Restrições físicas e avisos;
- Ligação equipotencial para descargas atmosféricas (LE).

Porém deve-se ser levado em conta que a equipotencialização e o aumento da resistência de contato com a superfície do solo interna ou externa do volume podem reduzir o risco a vida, as medidas de proteção somente serão eficientes em estruturas que existam um sistema de SPDA.

As medidas de proteção para a redução de danos físicos dependem da utilização de um sistema SPDA na qual inclui os subsistemas de captação, descida e aterramento, a equipotencialização para redução dos perigos de incêndio e explosão, medidas que limitam uma possível propagação do fogo, extintores, hidrantes, alarme de incêndio e a instalação de rotas de fuga.

Todas as medidas de proteção quando combinadas compõe um sistema completo de proteção contra descargas atmosféricas. A escolha das medidas de proteção mais adequadas deverá ser feita pelo técnico responsável, de acordo com o tipo e valor de cada tipo de dano, como aspectos técnicos e económicos das diferentes medidas de proteção e dos resultados da avaliação de riscos.

4.1.5 CRITÉRIOS BÁSICOS PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS

Uma estrutura apresenta a proteção ideal quando, toda ela é protegida por uma blindagem continua de perfeita condução, aterrada e de espessura adequada segundo a NBR 5419: 2015. Além disso apresenta ligações equipotenciais por todas as linhas elétricas e tubulações metálicas que possam conter na estrutura em pontos de passagem da blindagem. Isto faz com que a corrente da descarga atmosférica não penetre na estrutura a ser protegida, evitando assim efeitos térmicos e

eletrodinâmicos perigosos da corrente como centelhamento e sobretensões perigosos para os sistemas internos.

Porém esta proteção ideal é somente na teoria, na prática as aplicações das medidas para se obter a proteção total da estrutura é inviável pois a falta de continuidade da blindagem ou a espessura permite a penetração de parte da corrente da descarga atmosférica podendo causar danos físicos, risco a vida e falha dos sistemas internos.

4.2 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 2 GERENCIAMENTO DE RISCO

Este tópico da ABNT 5419: 2015 apresenta os procedimentos para a análise de risco das descargas atmosféricas em uma estrutura. Quando um limite superior tolerável para o risco foi escolhido, estes procedimentos permitem a escolha de métodos de proteção apropriados a serem adotados para reduzir o risco limite tolerável.

Porém para os efeitos indiretos das descargas atmosféricas, esta parte da ABNT NBR 5419, apresenta algumas restrições na proteção da vida humana, que é abordada em tópicos futuros. Esta parte da norma também não se aplica a sistemas ferroviários, navios, tubulações subterrâneas e linhas de energia.

4.2.1 DANOS E PERDAS

A principal fonte de dano de uma descarga atmosférica é a sua corrente de alta intensidade, e dependendo do ponto de impacto da descarga atmosférica, as fontes de danos podem ser distintas sendo elas:

- S1: descargas atmosféricas na estrutura;
- S2: descargas atmosféricas perto da estrutura;
- S3: descargas atmosféricas na linha;
- S4: descargas atmosféricas perto da linha.

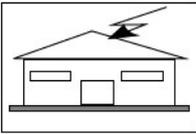
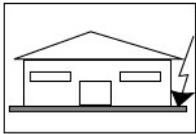
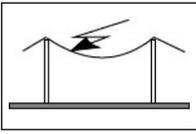
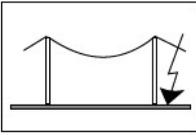
Segundo a ABNT NBR 5419:2015, uma descarga atmosférica pode causar danos dependendo das características da estrutura a ser protegida. Algumas das características analisadas são o tipo de construção, conteúdos e aplicações. Para

análises práticas foram separados três tipos básicos de danos como consequência das descargas atmosféricas.

- D1: ferimentos aos seres vivos por choque elétrico;
- D2: danos físicos;
- D3: falhas de sistemas eletroeletrônicos.

A figura 19 apresenta as fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto.

Figura 19: Fontes de danos, tipos de danos e tipos de perdas de acordo com o ponto de impacto

Descarga atmosférica		Estrutura	
Ponto de impacto	Fonte de danos	Tipo de danos	Tipo de perdas
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S2	D3	L1 ^b , L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
	S4	D3	L1 ^b , L2, L4

^a Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.
^b Somente para estruturas com risco de explosão ou para hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos podem imediatamente colocar em perigo a vida humana.

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Quando acontece uma descarga atmosférica em uma estrutura, os danos podem ser os mais variados possíveis. Na NBR 5419: 2015 fala que cada tipo de dano, sozinho ou em combinação com outros, pode produzir diferentes perdas consequentes em uma estrutura a ser protegida. O tipo de perda pode acontecer

dependendo das características da própria estrutura e do seu conteúdo. Os seguintes tipos de perdas devem ser levados em consideração.

- L1: perda de vida humana;
- L2: perda de serviço ao público;
- L3: perda de património cultural;
- L4: perda de valores económicos.

4.2.2 RISCOS E COMPONENTES DE RISCO

Segundo a NBR 5419: 2015 o risco, R, é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado. Os riscos a serem avaliados em uma estrutura devem ser como a seguir:

- R1: risco de perda de vida humana, incluindo ferimentos permanentes
- R2: risco de perda de serviço ao público;
- R3: risco de perda de património cultural;
- R4: risco de perda de valores económicos.

Cada risco, Rx, é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

- RA: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3m ao redor dos condutores de descidas. Perda de tipo L1 e, no caso de estruturas contendo animais vivos, as perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais.
- RB: componente relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente.

- RC: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

A componente de risco RM são os riscos para umas estruturas devidos as descargas atmosféricas perto da estrutura. São os riscos relativos a falhas de sistemas internos causados por impulsos eletromagnéticos de descargas atmosféricas - LEMP. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão, e hospitais ou outras estruturas onde falhas de sistemas internos possam imediatamente colocar em perigo a vida humana.

A ABNT NBR5419: 2015 também fala das componentes de risco para uma estrutura quando as descargas atmosféricas acontecem a uma linha conectada a estrutura e quando uma descarga atmosférica ocorre perto de uma linha conectada a estrutura.

- RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura. Perda do tipo L1 e, no caso de propriedades agrícolas, perdas do tipo L4 com possíveis perdas de animais podem também ocorrer;
- RV: componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamento perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na estrutura);
- RW: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta. Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto como tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão;
- RZ: componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

Perdas do tipo L2 e L4 podem ocorrer em todos os casos, junto com o tipo L1, nos casos de estruturas com risco de explosão.

A Figura 20 representa os Componentes de risco a serem considerados para cada tipos de perda em uma estrutura.

Figura 20: Componentes de risco a serem considerados para cada tipos de perda em uma estrutura

Fonte de danos	Descarga atmosférica na estrutura S1			Descarga atmosférica perto da estrutura S2	Descarga atmosférica em uma linha conectada à estrutura S3			Descarga atmosférica perto de uma linha conectada à estrutura S4
	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Componente de risco								
Risco para cada tipo de perda								
R_1	*	*	* a	* a	*	*	* a	* a
R_2		*	*	*		*	*	*
R_3		*				*		
R_4	* b	*	*	*	* b	*	*	*

^a Somente para estruturas com risco de explosão e para hospitais ou outras estruturas quando a falha dos sistemas internos imediatamente possam colocar em perigo a vida humana.

^b Somente para propriedades onde animais possam ser perdidos.

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Sendo assim a componente R_x é determinada pela multiplicação do número de eventos perigosos por ano (N_x) pela probabilidade de dano a estrutura (P_x), pela perda consequente causada (L_x). Onde N_x é calculado multiplicando-se o valor de N_g pela área de exposição equivalente da estrutura, P_x é calculado utilizando a classe do SPDA e L_x é calculado considerando o tipo de perda, como apresenta a figura 21.

Figura 21: Componentes de Risco para diferentes tipos de danos e fontes de danos

Danos	Fonte de danos			
	S1 Descarga atmosférica na estrutura	S2 Descarga atmosférica perto da estrutura	S3 Descarga atmosférica na linha conectada	S4 Descarga atmosférica perto da linha conectada
D1 Ferimentos a seres vivos devido a choque elétrico	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U$	
D2 Danos físicos	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$	
D3 Falha de sistemas eletroeletrônicos	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

4.2.3 GERENCIAMENTO DE RISCO

A ABNT NBR5419: 2015 faz uma análise de procedimento básico para o gerenciamento de risco de uma estrutura:

- Identificação da estrutura a ser protegida e suas características;
- Identificação de todos os tipos de perdas na estrutura e os correspondentes riscos relevantes R1 a R4;
- Avaliação do risco R para cada tipo de perda R1 a R4;
- Avaliação da necessidade de proteção, por meio da comparação dos riscos R1, R2 e R3 com os riscos toleráveis R_t ,
- Avaliação da eficiência do custo da proteção pela comparação do custo total das perdas com ou sem as medidas de proteção. Neste caso, a avaliação dos componentes de risco R4 deve ser feita no sentido de avaliar tais custos.

Na análise de gerenciamento de risco de uma estrutura deve-se levar em conta a própria estrutura, as instalações da estrutura, o seu conteúdo, as pessoas dentro da estrutura e zonas de até 3m próximas a ela e o meio ambiente que cerca a estrutura

A responsabilidade de verificar o valor de risco tolerável é da autoridade que tem a jurisdição sobre a estrutura. A tabela 15 apresenta os valores representativos de risco tolerável R_t , onde as descargas atmosféricas envolvem perdas de vida humana ou perda de valores sociais ou culturais.

Tabela 15: Valores típicos de risco tolerável R_t

Tipo de perda		R_t (Y^{-1})
L1	Perda de vida humana ou ferimentos permanentes	10^{-5}
L2	Perda de serviço público	10^{-3}
L3	Perda de patrimônio cultural	10^{-4}

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

De acordo com ABNT NBR 5419-1, os riscos R_1 , R_2 e R_3 devem ser considerados na avaliação da necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas. Para cada tipo de risco a ser considerado, os seguintes passos de um procedimento específico devem ser tomados:

- Identificação dos componentes R_X que compõe o risco;
- Cálculo dos componentes de risco identificados R_X ;
- Cálculo do risco total R ;
- Identificação dos riscos toleráveis R_t ;
- Comparação do risco R com o valor do risco tolerável R_t .

Se $R < R_t$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária.

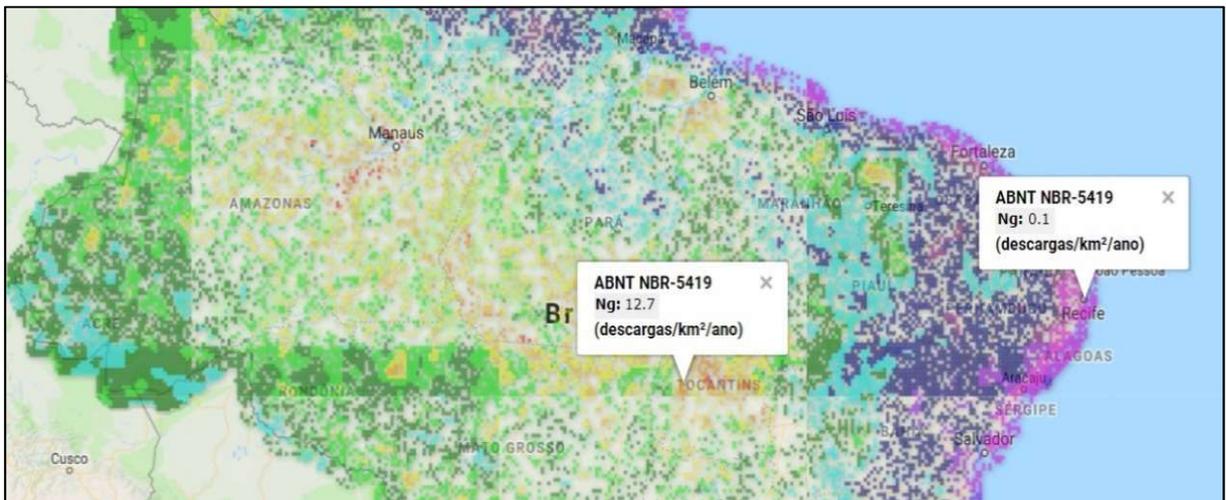
Se $R > R_t$, medidas de proteção devem ser adotadas no sentido de reduzir $R < R_t$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita.

4.2.4 ANÁLISE DO NÚMERO ANUAL DE EVENTOS PERIGOSOS

A ABNT NBR5419: 2015 faz uma análise do número médio anual N de eventos perigosos relacionados a descargas atmosféricas e que influenciam a estrutura a ser protegida dependendo da atividade atmosférica da região e das características da

estrutura. Para calcular o número N , deve-se multiplicar a densidade de descargas atmosféricas para a terra N_g pela área de exposição equivalente da estrutura, levando em conta os fatores de correção para as características físicas da estrutura. A Figura 22 representa o mapa isoceráunicos dos estados de Tocantins e Recife, destacando as diferenças dos valores de N_g .

Figura 22: Mapa isoceráunicos mostrando as diferenças de N_g das regiões Tocantins e Recife



Fonte: ELAT (2018)

N_g é o número de descargas atmosféricas por km^2 por ano. Este valor é disponível nas redes de localização de descargas atmosféricas para a terra em diversas áreas no mundo. No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica, é o órgão responsável pela divulgação destes dados.

Número de eventos perigosos N_d para a estrutura pode-se ser calculado seguindo a fórmula 4

$$ND = NG \times AD \times CD \times 10^{-6} \quad (4)$$

Onde:

- ND é a quantidade de descargas atmosféricas para a terra na localização da estrutura por ano;

- NG é a densidade de descargas atmosféricas para a terra em descargas atmosféricas por quilômetro quadrado por ano;
- AD é a área de exposição equivalente da estrutura em metros quadrados (m^2);
- CD é fator de localização da estrutura em que pode- se verificar na tabela 16.

Tabela 16: Fator de localização da estrutura Cd

Localização relativa	Cd
Estrutura cercada por objetos mais altos	0,25
Estrutura cercada por objetos da mesma altura ou mais baixos	0,5
Estrutura isolado: nenhum outro objeto nas vizinhanças	1
Estrutura isolada no topo de uma colina ou monte	2

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

4.2.5 AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE DANOS

Os valores de probabilidade PA de choque a seres vivos devido à tensão de toque e passo devido a uma descarga atmosférica em uma estrutura dependem do SPDA adotado e das medidas de proteção adicionais adotadas e pode ser calculado a partir da Equação 5.

$$PA = PTA \times PB \quad (5)$$

Sendo:

- PTA : Valores das medidas de proteção adicionais contra tensões de toque e passo, como as listadas na Tabela 17;
- PB : Valores do nível de proteção contra descargas atmosféricas (NP) para o qual o SPDA de acordo com o ABNT NBR 5419-3 foi projetado. Valores de PB são obtidos na Tabela 18;
- PA : Valor da probabilidade de dano.

Tabela 17: Valores de probabilidade PTA de uma descarga atmosférica em uma estrutura causar choque a seres vivos devido a tensões de toque e de passo perigosas

MEDIDA DE PROTEÇÃO ADICIONAL	PTA
Nenhuma medida de proteção	1
Avisos de alerta	10 ¹
Isolação Elétrica das partes expostas	10 ²
Equipotencialização efetiva do solo	10 ²
Restrições físicas ou estrutura do edifício utilizada como subsistema de descida	0

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Tabela 18: Valores de probabilidade PB dependendo das medidas de proteção para reduzir danos físicos

Característica da Estrutura	Classe do SPDA	PB
Estrutura não protegida por SPDA	-	1
Estrutura protegida por SPDA	IV	0,2
	III	0,1
	III	0,005
	I	0,02
Estrutura com subsistema de captação conforme SPDA classe I		0,01
Estrutura com cobertura metálica e um subsistema de captação		0,001

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015).

4.3 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 3 DANOS FÍSICOS A ESTRUTURAS E PERIGO A VIDA

A ABNT 5419: 2015 parte 3 trata da proteção, no interior e ao redor de uma estrutura, contra os danos físicos e lesões a seres vivos provocados por uma descarga atmosférica. A norma considera que a principal e mais eficaz medida de proteção contra danos físicos é o SPDA. O sistema de proteção contra descargas atmosféricas geralmente é composto por dois sistemas de proteção: sistema interno e o sistema externo.

A função do SPDA externo é de interceptar uma descarga atmosférica que tinha como destino uma estrutura, conduzir a corrente da descarga atmosférica para a terra de forma segura e dispersar esta corrente na terra.

A função do SPDA interno é a de reduzir os riscos com centelhamento perigosos dentro do volume de proteção criado pelo SPDA externo utilizando ligações equipotenciais ou distância de segurança entre os componentes do SPDA externo.

Algumas principais medidas de proteção contra os riscos devido as tensões de passo e de toque para os seres vivos consistem em reduzir a corrente elétrica que flui por meio dos seres vivos por meio de isolação de parte condutoras e reduzir a ocorrência de tensões perigosas de toque e passo por meio de barreiras físicas

4.3.1 PROJETO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCRAGAS ATMOSFÉRICAS

No projeto de SPDA, suas características e dados são determinados pelas características da estrutura a ser protegida e pelo nível de proteção considerado para descargas atmosféricas. A tabela 19 apresenta as quatro classes de SPDA definidas na norma NBR5419: 2015.

Tabela 19 : Relação entre níveis de proteção para descargas atmosféricas e classe de SPDA da norma de 2015

Nível de proteção	Classe do SPDA
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015)

Cada classe do SPDA apresenta os seguintes dados:

- Parâmetros da descarga atmosférica;
- Raio da esfera rolante, tamanho da malha e ângulo de proteção;
- Distâncias típicas entre condutores de descida e dos condutores em anel;
- Distância de segurança contra centelhamento perigoso;
- Comprimento mínimo dos eletrodos de terra.

A tabela 20 apresenta Relação dos afastamentos dos condutores de malha e o espaçamento entre as descidas de acordo com a classe de SPDA

Tabela 20 : Relação dos afastamentos dos condutores de malha e o espaçamento entre as descidas de acordo com a classe de SPDA

Classe do SPDA	Método de proteção		
	Raio da esfera rolante R (m)	Máximo afastamento dos condutores de malha	Espaçamento entre as descidas(m)
I	20	5X5	10
II	30	10X10	10
III	45	15X15	15
IV	60	20X20	20

Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015)

4.3.2 SISTEMA EXTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Segundo a ABNT NBR5419: 2015 o sistema de proteção externo é projetado para interceptar as descargas atmosféricas diretas contra a estrutura protegida, incluindo as descargas laterais as estruturas e conduzir a corrente elétrica da descarga atmosférica do ponto de impacto a terra. O SPDA externo também tem a função de dispersar esta corrente na terra sem causar danos térmicos ou mecânicos, nem centelhamento perigosos que possam iniciar um incêndio ou explosão. Na maioria dos casos o SPDA externo pode fazer parte da estrutura a ser protegida, somente deve-se considerar o uso do SPDA externo isolado quando os efeitos térmicos e de explosão no ponto de impacto puderem causar algum tipo de dano a estrutura.

4.3.3 SUBSISTEMA DE CAPTAÇÃO

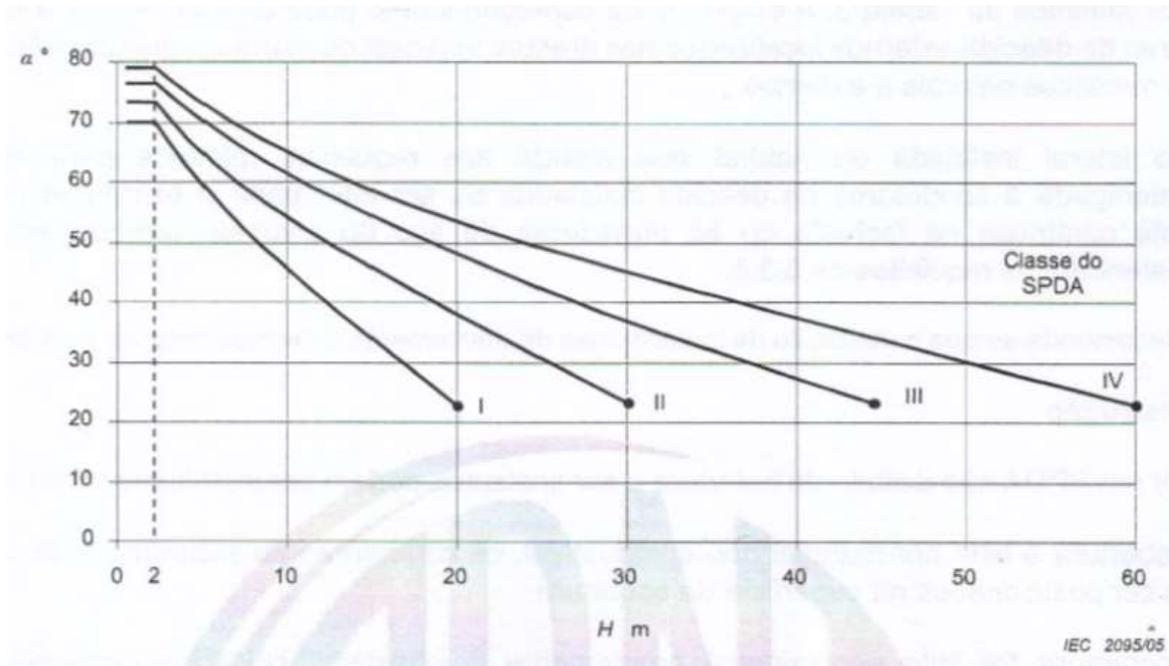
O subsistema de captação apresenta a função de captação da descarga atmosférica, tornando assim a probabilidade da penetração da corrente elétrica na estrutura limitada, quando este sistema for apropriadamente instalado.

O correto posicionamento dos elementos captadores e do sistema de captação é que determina o volume protegido, sendo que o sistema de captação pode ser composto por qualquer combinação de hastes, condutores suspensos ou condutores em malhas.

Os componentes do subsistema de captação instalados na estrutura devem ser posicionados nos cantos salientes, pontas expostas e nas beiradas da estrutura, mas

sempre utilizando no mínimo um dos seguintes métodos: ângulo de proteção, esfera rolante ou método das malhas. A norma comenta que os métodos da esfera rolante e das malhas são adequados em todos os casos, porém o método do ângulo de proteção é adequado para edificações de formato simples, mas está sujeito aos limites de altura dos captores conforme figura 23.

Figura 23: Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA



Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015)

4.3.4 SUBSISTEMA DE DESCIDA

O subsistema de descida tem o propósito de reduzir a probabilidade de danos devido à corrente da descarga atmosférica fluindo pelo SPDA, os condutores de descida devem ser arranjados afim de proverem:

- Diversos caminhos paralelos para a corrente elétrica;
- O menor comprimento possível do caminho da corrente elétrica;
- A equipotencialização com as partes condutoras de uma estrutura.

O posicionamento das descidas de uma SPDA isolado deve obedecer aos seguintes tópicos:

- Se os captosres consistirem em hastes em mastros separados (ou um mastro) não metálicos nem interconectados às armaduras, é necessário para cada mastro pelo menos um condutor de descida;
- Se os captosres consistem em condutores suspensos em catenária (ou um fio), pelo menos um condutor de descida é necessário em cada suporte da estrutura;
- Se os captosres formam uma rede de condutores, é necessário pelo menos um condutor de descida em cada suporte de terminação dos condutores.

No caso do SPDA não isolado, o número de condutores de descida não pode ser inferior a dois, mesmo se o valor do cálculo do perímetro dividido pelo espaçamento para o nível correspondente resultar em valor inferior. No posicionamento, deve-se utilizar o espaçamento mais uniforme possível entre os condutores de descida ao redor do perímetro. A tabela 21 apresenta os Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA.

Tabela 21: Valores típicos de distância entre os condutores de descida e entre os anéis condutores de acordo com a classe de SPDA

Classe do SPDA	Distâncias (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015)

4.3.5 SUBSISTEMA DE ATERRAMENTO

A norma ABNT NBR 5419: 2015 diz que o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local.

Para subsistemas de aterramento, na impossibilidade do aproveitamento das armaduras das fundações, o arranjo a ser utilizado consiste em condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80 % do

seu comprimento total, ou elemento condutor interligando as armaduras descontínuas da fundação. Estes eletrodos de aterramento podem também ser do tipo malha de aterramento. Devem ser consideradas medidas preventivas para evitar eventuais situações que envolvam tensões superficiais perigosas

O eletrodo de aterramento em anel deve ser enterrado na profundidade de no mínimo 0,5 m e ficar posicionado à distância aproximada de 1m a redor das paredes externas. Eletrodos de aterramento devem ser instalados de tal maneira a permitir sua inspeção durante a construção.

4.3.6 SISTEMA INTERNO DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O SPDA interno deve evitar a ocorrência de centelhamento perigosos dentro do volume de proteção e da estrutura a ser protegida devido à corrente da descarga atmosférica que flui pelo SPDA externo ou em outras partes condutivas da estrutura. Este centelhamento perigoso pode ser evitado por meio de ligações equipotenciais ou isolamento elétrica entre as partes.

As ligações equipotenciais são obtidas por meio da interligação do SPDA com as instalações elétricas, os sistemas internos e as partes condutivas externas e linhas elétricas conectadas a estrutura. Devem ser considerados os efeitos causados quando uma equipotencialização é estabelecida com sistemas internos para fins de proteção, pois uma parte da corrente da descarga atmosférica pode fluir por tais sistemas.

4.3.7 MANUTENÇÃO, INSPEÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DE UM SPDA

A eficácia de qualquer SPDA depende da sua instalação, manutenção e métodos de ensaio utilizados. As inspeções, ensaios e manutenção não podem ser realizados durante a ameaça de tempestades.

O objetivo das inspeções nos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas é assegurar que o SPDA esteja de acordo com o projeto baseado na norma mais atual e vigente, que todos os componentes do SPDA estejam em boas condições iniciais previstas pelo projeto inicial e que possam ser capazes de cumprir suas funções e que qualquer nova construção ou reforma que altere as condições

iniciais previstas em projeto além de novas tubulações metálicas, linhas de energia , estejam incorporados ao SPDA.

A norma também prevê as inspeções periódicas, nas quais deve-se checar os seguintes itens:

- Deterioração e corrosão dos captores, condutores de descida e conexões;
- Condição das equipotencializações;
- Corrosão dos eletrodos de aterramento;
- Verificação da integridade física dos condutores do eletrodo de aterramento para os subsistemas de aterramento não naturais.

4.4 ABNT NBR 5419: 2015 PARTE 4 SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS NA ESTRUTURA

Esta Parte da Norma fornece as informações sobre as medidas de proteção para reduzir os riscos de dano permanente de sistemas eletroeletrônicos existentes nas estruturas e as informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e ensaios de sistemas de proteção elétricos e eletrônicos. Danos permanentes nos sistemas eletroeletrônicos podem ser causados pelo pulso eletromagnético da descarga atmosférica (LEMP) por meio de:

- Surtos conduzidos ou induzidos transmitidos pelos cabos conectados aos sistemas;
- Os efeitos dos campos eletromagnéticos irradiados diretamente para os próprios equipamentos.

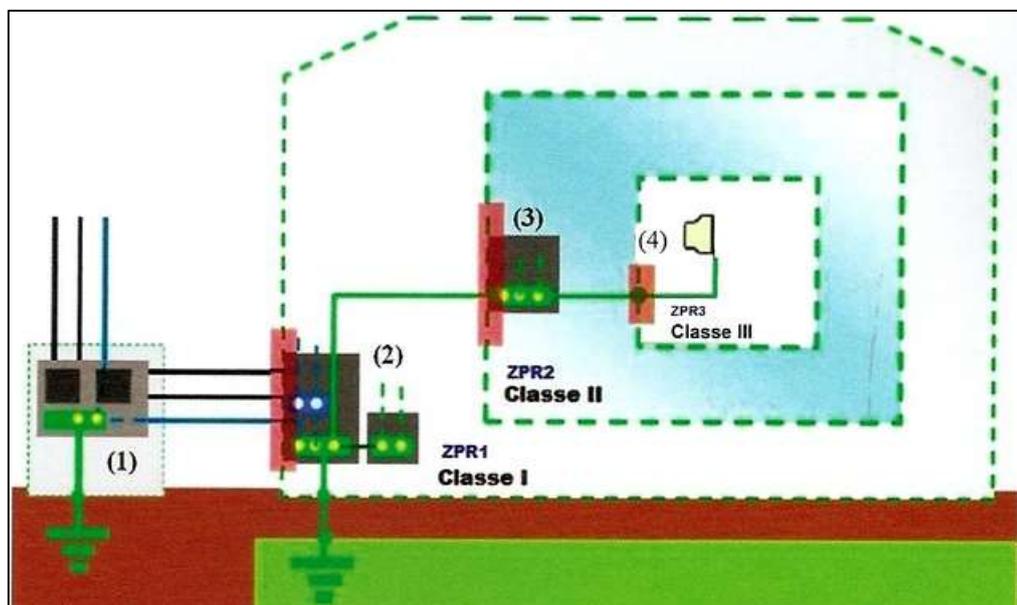
4.4.1 PROJETO E INSTALAÇÃO DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (MPS)

Os sistemas elétricos e eletrônicos estão sujeitos a danos devido a impulsos eletromagnéticos causados pelas descargas atmosféricas (LEMP). Portanto, para evitar danos nos sistemas internos, é necessária a adoção de MPS.

Esta proteção contra a LEMP é baseada no conceito de zonas de proteção contra raios as ZPR. As ZPRs consideram a redução gradual dos surtos de tensão até

valores suportáveis, antes que eles alcancem os terminais dos equipamentos eletrônicos e comprometam a sua integridade. Para utilizar este conceito, deve-se dividir as redes de energia, sinal em ZPR e efetuar nas transições entre estas zonas, as fronteiras, a sua equipotencialização, que será a referência única de tensão nesse ambiente. O conceito é o de redução do valor do campo eletromagnético ao passar de uma ZPR para outra de índice superior em função das medidas citadas. Um equipamento fica cada vez mais protegido, quanto mais “internamente” ele se encontrar dentro das respectivas ZPRs. A figura 24 apresenta uma aplicação das classes por zonas de proteção.

Figura 24: Aplicação das classes por zonas de proteção



Fonte: Proteção contra surtos Elétricos – Finder (2017)

Sendo:

1. Quadro de medição de energia por concessionária
2. Quadro de instalação do DPS e um novo aterramento
3. Quadro de distribuição
4. Ponto de tomada

A Figura 24 apresenta também um exemplo de divisão de uma estrutura dentro de ZPR internas. Todos os serviços entrando na estrutura são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização na fronteira de ZPR 1. Ainda, os serviços por

meio de partes condutoras entrando em ZPR 2 (por exemplo, salas de computadores) são equipotencializados por meio de barras de equipotencialização em ZPR 2.

A norma aborda sobre as descargas atmosféricas a definição das seguintes zonas ZPR:

Zonas externas:

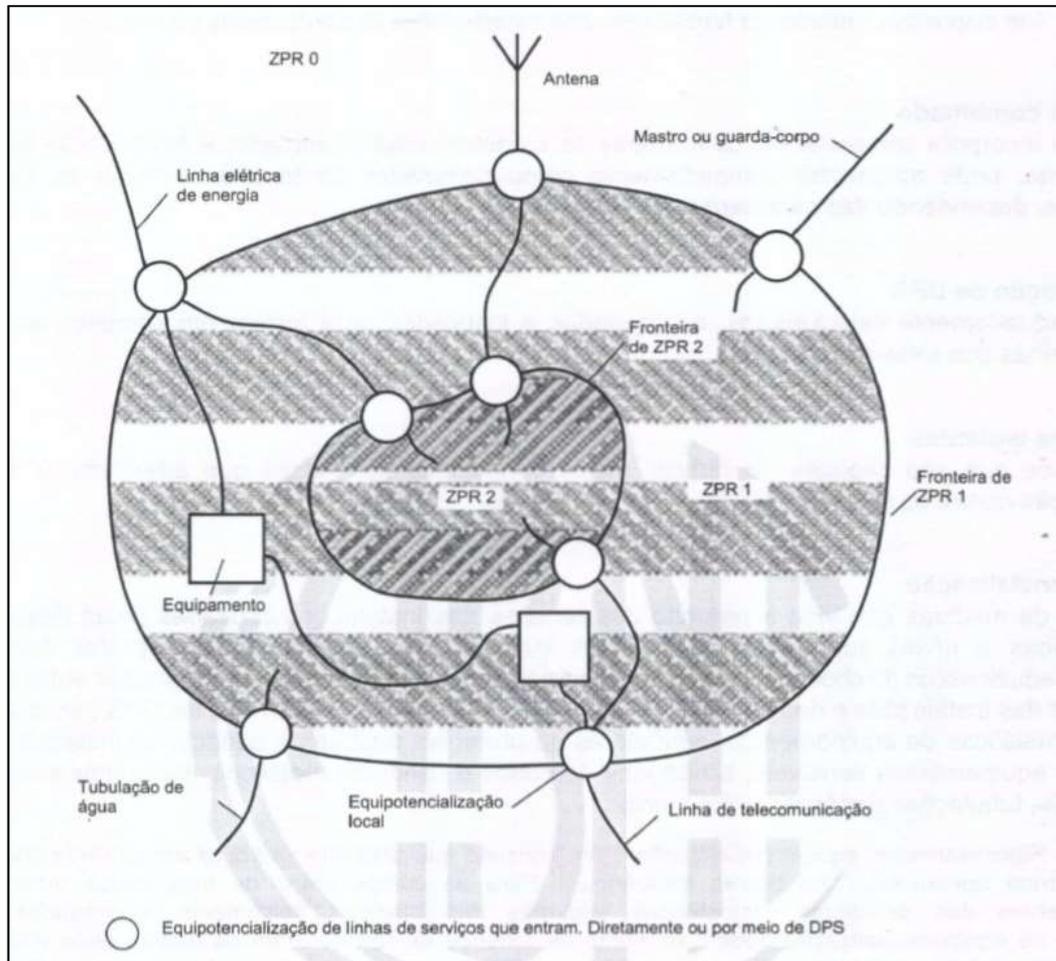
- ZPR0 é a zona onde a ameaça é devido a não atenuação do campo eletromagnético da descarga atmosférica e onde os sistemas internos podem ser sujeitos as correntes de surto totais ou parciais.
- ZPR0a é a zona onde a ameaça é devido à descarga atmosférica direta e a totalidade do campo eletromagnético gerado por esta descarga. Os sistemas internos podem estar sujeitos à totalidade da corrente de surto;
- ZPR0b zona protegida contra as descargas atmosféricas diretas, mas onde a ameaça é causada pela totalidade do campo eletromagnético. Os sistemas internos podem estar sujeitos às correntes de surto parciais.

Zonas internas:

- ZPR 1: zona onde a corrente de surto é limitada pela distribuição das correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS ou blindagem espacial instalados na fronteira das zonas. Blindagens espaciais em formas de grade podem atenuar significativamente o campo eletromagnético;
- ZPR2...n: zona onde a corrente de surto pode ser ainda mais limitada pela distribuição de correntes e interfaces isolantes e/ou por DPS adicionais nas fronteiras entre as zonas mais internas. Blindagens adicionais podem ser usadas para atenuação adicional do campo eletromagnético gerado pela descarga atmosférica.

A figura 25 apresenta exemplo das ZPR'S externas e internas.

Figura 25: Exemplo das ZPR'S externas e internas

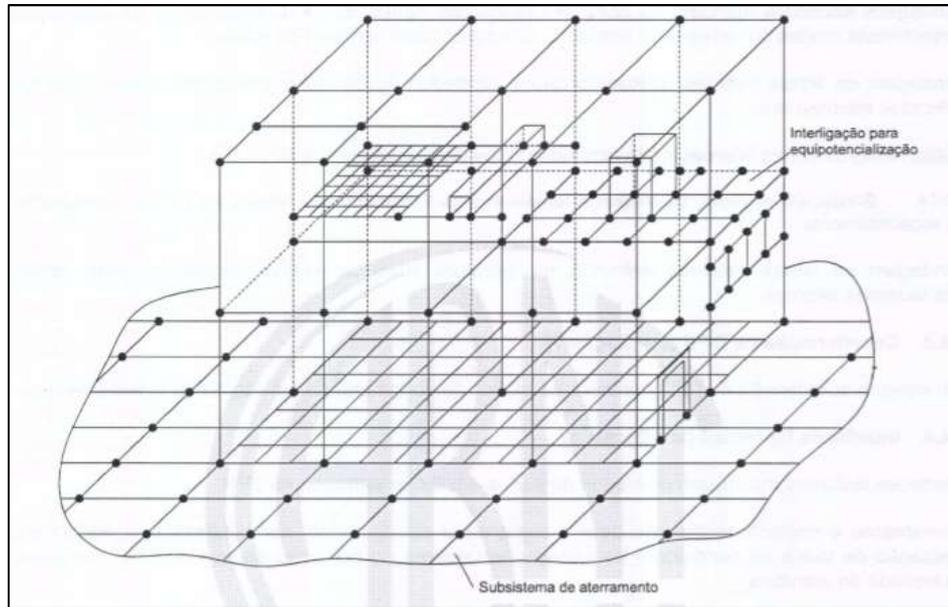


Fonte: ABNT NBR 5419-4 (2015)

4.4.2 ATERRAMENTO E EQUIPOTENCIALIZAÇÃO

A norma ABNT NBR5419: 2015 fala que um aterramento e equipotencialização estão adequados quando elas são baseadas em um sistema combinado como na figura 25 que apresenta todo o subsistema de aterramento junto com a malha de equipotencialização. A figura 26 apresenta um modelo de um sistema de aterramento tridimensional constituído em uma rede de equipotencialização, ligada ao sistema de aterramento.

Figura 26: Exemplo de um sistema de aterramento tridimensional constituído em uma rede de equipotencialização, ligada ao sistema de aterramento



Fonte: ABNT NBR 5419-4 (2015)

Todo o sistema de aterramento deve estar atendendo a ABNT NBR5419-3. Tanto o eletrodo em forma de anel ao redor da estrutura quanto o eletrodo natural usando as armaduras do concreto das fundações devem ser interligados.

4.4.3 BLIDAGEM MAGNÉTICA E ROTEAMENTO DE LINHAS

Blindagens magnéticas podem reduzir o campo eletromagnético assim como a intensidade dos surtos induzidos internamente. Um roteamento adequado das linhas internas também pode minimizar a intensidade dos surtos induzidos internamente. Ambas as medidas são eficazes em reduzir falhas permanentes de sistemas internos.

A norma ABNT NBR5419 :2015 aborda sobre algumas blindagens como a blindagem de linhas internas, que podem se restringir ao cabeamento e equipamento do sistema a ser protegido, blindagem de linhas externas que são a blindagem dos cabos, dutos metálicos fechados e dutos de concreto. E também a blindagem espacial que define as zonas protegidas, que podem cobrir toda a estrutura, uma parte dela, um cômodo ou apenas um gabinete do equipamento.

4.4.4 GERENCIAMENTO DAS MPS

Um projeto de proteção contra descargas atmosféricas eficiente deve ser desenvolvido durante a concepção inicial da edificação e antes do início de fato da sua construção. Assim possibilita otimizar o uso dos equipamentos naturais da estrutura e escolher o melhor caminho para a passagem dos cabos e localização dos equipamentos. O custo de uma MPS é mais alto para a reforma em uma estrutura já existente do que para novas estruturas.

Uma proteção adequada pode ser alcançada somente se:

- As disposições são definidas por um especialista em proteção contra descargas atmosféricas;
- Existe uma boa coordenação entre os diferentes especialistas envolvidos na construção da edificação e nas MPS;
- O plano de gerenciamento e coordenação das MPS é seguido.

O plano de gerenciamento e coordenação das MPS requer uma análise que começa no plano de gerenciamento de risco na ABNT NBR5419-2 para determinar as medidas de proteção necessárias para reduzir os riscos para um nível mais tolerável. De acordo com os níveis de proteção definidos na ABNT NBR 5419-1 e as medidas de proteção adotadas, os seguintes passos devem ser adotados:

- Fornecimento de um sistema de aterramento, compreendendo uma interligação para equipotencialização e um subsistema de aterramento;
- Equipotencialização das partes metálicas externas e linhas metálicas entrando na estrutura diretamente ou por meio de DPS;
- Integração dos sistemas internos em uma interligação para equipotencialização;
- Implementação de blindagens espaciais combinadas com o roteamento e blindagens das linhas;
- Recomendações para a coordenação de DPS;
- Determinação das interfaces isolantes adequadas;
- Medidas especiais para estruturas existentes e necessárias.

5. RESULTADOS

5.1 PRINCIPAIS MUDANÇAS DAS NORMAS ABNT NBR5419: 2005 E 2015

A Norma ABNT NBR5419: 2015 está em vigor desde 22 de junho de 2015 e trouxe vários novos conceitos para aumentar a segurança de pessoas, estruturas e instalações. A primeira grande diferença entre as duas normas de 2005 e 2015 é a quantidade de páginas. A norma de 2005 apresentava 42 páginas que estão divididas em uma parte com 6 capítulos e 5 anexos abordando as características e exigências para a construção de um projeto SPDA completo. Já a norma de 2015 apresenta aproximadamente 380 páginas que estão divididas em 4 partes que são:

- Parte 1 – Princípios Gerais
- Parte 2 – Gerenciamento de Risco
- Parte 3 – Danos físicos a estruturas e perigos à vida
- Parte 4 – Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura.

A parte 1 da norma ANBT NBR5419 dá uma introdução sobre as descargas atmosféricas, definindo os parâmetros das correntes das descargas atmosféricas, que são a base de estudo das medidas de proteção e dimensionamento de componentes. Ela apresenta a importância de cada parte da norma e a conexão entre elas. Esta primeira parte aborda também sobre os possíveis danos a estruturas, tipos de perdas, e os níveis de proteção contra descargas atmosféricas. A primeira parte trouxe muitas novidades para a normalização brasileira, desde a apresentação da fundamentação e terminologia para a análise de risco, até novos termos como o conceito de zonas de proteção. Os principais tópicos acrescentados nesta primeira parte que não existiam na norma de 2005 foram:

- As correntes das descargas atmosféricas ganharam um espaço somente para elas, que são apresentados nos anexos A B, C e D.
- Foi criado quatro tipos de situações de dano, sempre considerando o local de impacto da descarga atmosférica sendo na estrutura ou próxima a ela, e em uma linha de energia conectada a estrutura ou próximo a uma linha conectada a estrutura (Tópico 4.2.1DANOS E PERDAS).

A parte 2 traz as maiores diferenças na proteção contra descargas atmosféricas e sobre o gerenciamento de risco em relação as descargas atmosféricas. É apresentada vários parâmetros da estrutura, de danos a estruturas decorrentes das descargas atmosféricas. Nesta parte a norma analisa os possíveis danos que podem acontecer nas estruturas, as falhas associadas aos sistemas elétricos e até os seres vivos na estrutura ou perto dela

A parte 3 da ABNT NBR 5419:2015 é a que mais está ligada à norma anterior, que traz os critérios de projeto, instalação e manutenção dos SPDA. A revisão trouxe algumas mudanças interessantes.

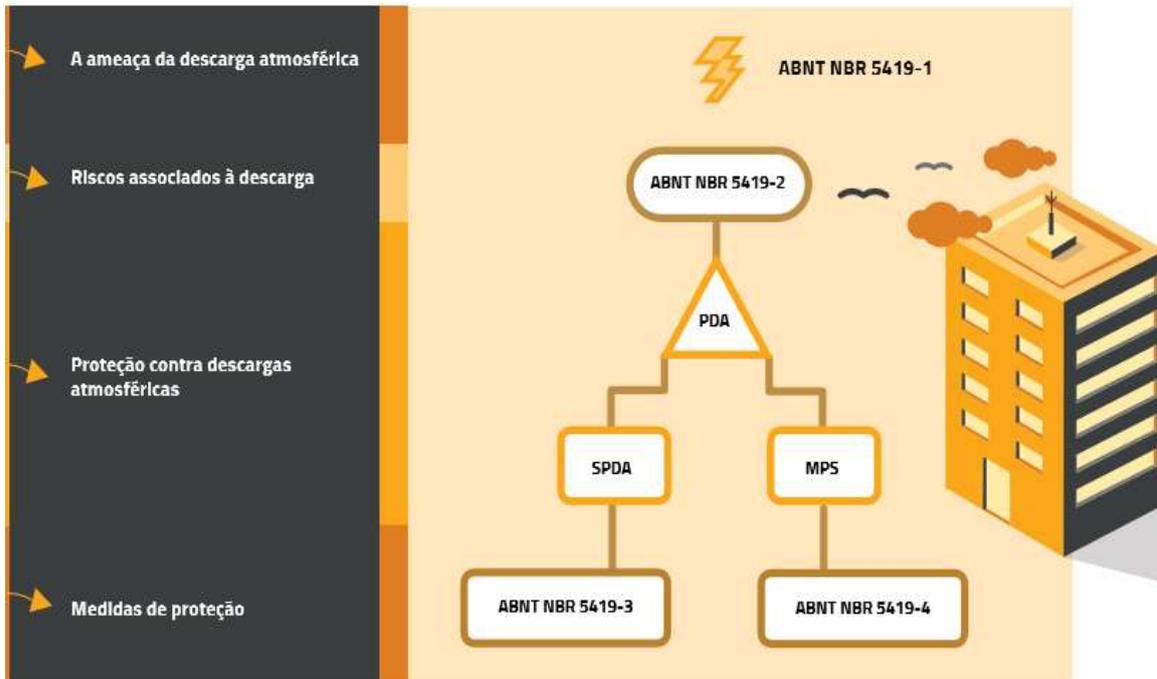
As principais mudanças são: os fechamentos dos meshes do método das malhas; uma apresentação visual mais fácil dos ângulos do método dos ângulos em função das alturas de referência; a redução dos espaçamentos dos condutores de descida; a redução dos espaçamentos dos anéis de captação lateral; e o método da esfera rolante não apresentou nenhuma modificação.

Já na última parte da norma ABNT NBR 5419:2015, ela estabelece critérios técnicos para as Medidas de Proteção contra Surtos (MPS) nas instalações e equipamentos, dentro da edificação e que venham a conduzir surtos nessas instalações, gerando perda de equipamentos, informações, acidentes pessoais, explosões ou incêndios, etc.

As consequências podem ser perda patrimonial, acidentes pessoais ou perda de vida, paralização das atividades do cliente e prejuízos com paradas ou perdas financeiras.

A norma recomenda a definição de zonas para dimensionar as MPS's adequadas em função dos riscos existentes em cada zona, o que está diretamente ligado com a quantidade de pessoas, tempo de permanência e tipo de atividade que é desenvolvido em cada zona. Assim, as MPS's vão variar de acordo com o risco de cada zona, otimizando os custos de implantação. A figura 27 apresenta as conexões entre as partes da NBR 5419: 2015

Figura 27: Conexão entre as partes da NBR 5419: 2015



Fonte: ABNT NBR 5419-1 (2015)

5.2 NECESSIDADE DE PROTEÇÃO X ANÁLISE DE RISCO

Com as atualizações da norma NBR5419: 2015, todos os dados sobre a estrutura a ser protegida, estruturas vizinhas, linhas de energia e também os sistemas de telecomunicações ligadas a ela, devem ser levados em consideração desde o início do projeto, pois estes dados iniciais são a base para os cálculos futuros do nível de proteção, sistemas de aterramentos tipos de proteções entre outros.

Na norma de 2005 era-se calculado o N_g que é o dado da densidade de descargas atmosféricas para a Terra usando o mapa isocerânicos e aplicava-se a uma área de exposição equivalente A_e conforme abordado nos tópicos 3.1.1 e 3.1.2. Como resultado obtivemos o N_d que é a frequência média anual

e N_{dc} , para a verificação se a estrutura necessita ou não de um SPDA

- Se $N_{dc} \geq 10^{-3}$, a estrutura requer um SPDA;
- Se $10^{-3} > N_{dc} > 10^{-5}$, a conveniência de um SPDA deve ser tecnicamente justificada e decidida por acordo entre projetista e usuário;

Com a nova norma foi apresentado também os tipos de perdas que são : L1 (Perda de vidas humanas), L2 (Perda de instalação de serviço ao público), L3 (Perda de memória cultural) e L4 (perda de valor econômico), na qual se calculam vários componentes de “Risco” (R1, R2, R3 e R4), que deverão ser comparados aos valores típicos de risco tolerável “RT”, para avaliar se as medidas de proteção adotadas atendem as exigências conforme abordado nos tópicos 4.2.1 (Danos e perdas) e 4.2.2 (Riscos e componentes de risco).

Assim se $R \leq RT$, a proteção contra a descarga atmosférica não é necessária. Se $R > RT$, é preciso adotar medidas de proteção para reduzir $R \leq RT$ em todos os riscos que envolvem a estrutura.

5.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO

Nos métodos de proteção ocorreram algumas modificações principalmente no método de Franklin e da gaiola de Faraday, porém o método da esfera rolante não teve alterações

5.3.1 MÉTODO DO ÂNGULO DE PROTEÇÃO (FRANKLIN)

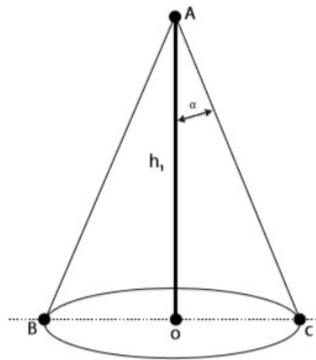
A definição do método do ângulo de proteção, segundo a NBR 5419/2015 é: “volume de proteção provido por um mastro é definido pela forma de um cone circular cujo vértice está posicionado no eixo do mastro, o ângulo α , dependendo da classe do SPDA, e a altura do mastro.” Assim, em vez dos ângulos serem fixos para cada situação de nível de proteção, eles passam a ser obtidos através de curvas. A tabela 22 apresenta o posicionamento dos captos conforme nível de proteção e altura do captor, a figura 29 apresenta volume de proteção provido por um mastro e figura 30 os ângulos de proteção correspondente a classe de SPDA.

Tabela 22: Posicionamento dos captos conforme nível de proteção e altura do captor

Ângulo de proteção (alfa), método Franklin, em função da altura do captor(h) e do nível de proteção							Largura do módulo da malha(m)
Nível de proteção	h/R (m)	0-20 m	21m-30m	31m-45m	46m-60m	>60m	
I	20	25°	1)	1)	1)	2)	5
II	30	35°	25°	1)	1)	2)	10
III	15	45°	35°	25°	1)	2)	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	2)	20

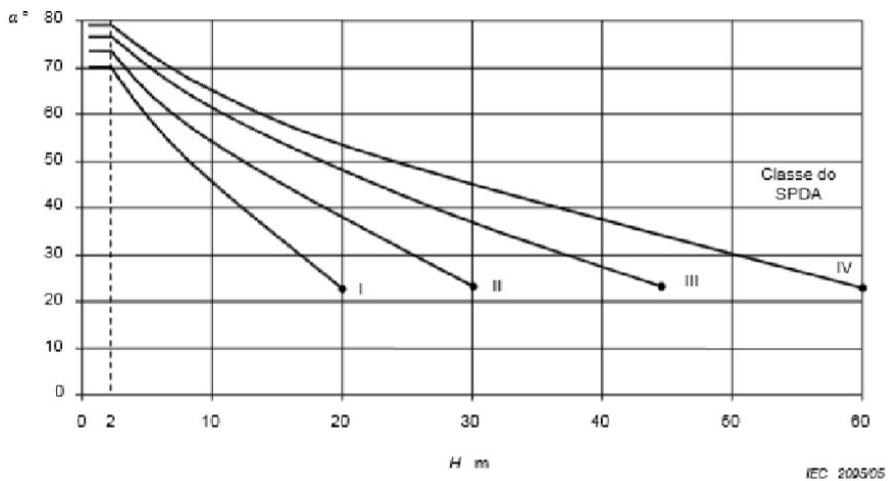
Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Figura 29: Volume de proteção provido por um mastro



Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Figura 30: Ângulo de proteção correspondente a classe de SPDA



Fonte: ABNT NBR 5419-3 (2015)

5.3.2 MÉTODO DA GAIOLA DE FARADAY

Na atualização da nova norma o método da gaiola de Faraday apresentou algumas mudanças nas dimensões das quadrículas, que passam a ser mais rigorosas e com formato mais quadrado, resultando no uso de mais material. A tabela 23 mostra os posicionamentos de captos conforme o nível de proteção.

Tabela 23: Posicionamento de captos conforme o nível de proteção

Nível de proteção	Largura máxima da malha (m)	Comprimento da malha (m)
I	5	<10
II	10	<20
III	10	<20
IV	20	<40

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

5.4 SISTEMA DE ATERRAMENTO E CONDUTORES DE DESCIDA

Os condutores de descidas tiveram seus espaçamentos reduzidos como mostra as tabelas 24 e 25 para os níveis de proteção II, III e IV, também aumentando a quantidade de material utilizado

Tabela 24: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção para a versão de 2005

Nível de proteção	Espaçamento médio m
I	10
II	15
III	20
IV	25

Fonte: ABNT NBR 5419 (2005)

Tabela 25: Espaçamento médio dos condutores de descida não naturais conforme nível de proteção para a versão de 2015

Classe do SPDA	Distancias m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Fonte: ABNT NBR 5419-2 (2015)

Nas tabelas que referenciam as dimensões mínimas de condutores e demais itens envolvidos foram incluídos novos materiais, além do aumento nas dimensões. Sai o arranjo A definido na NBR antiga, na qual não era necessário o condutor em anel, e permanece apenas o arranjo B, onde se utiliza o condutor em anel externo à estrutura a ser protegida sendo que este anel deve estar no mínimo a 80% em contato com o solo

5.5 PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS INTERNOS

Essa é uma novidade do projeto de SPDA que está sendo apresentada no capítulo 4, voltado à proteção de equipamentos eletroeletrônicos com a utilização de dispositivos de proteção contra surtos (DPS), arranjos de aterramento e equipotencialização, blindagem eletromagnética e roteamento dos circuitos elétricos, entre outros. Importante ressaltar que na norma antiga não havia um texto correspondente com essa abrangência e nível de detalhamento.

5.6 OUTRAS DIFERENÇAS APÓS ATUALIZAÇÃO DA NORMA

- As edificações que possuem uma altura superior a 10 metros, deverão possuir agora no subsistema de captação, um condutor periférico em forma de anel, contornando toda a cobertura e afastado no máximo a 0,5m da borda;
- Em paredes de material inflamável, o afastamento dos condutores passa a ser de no mínimo 10 cm. Nos demais tipos de parede, os condutores podem ser fixados diretamente sobre as mesmas, ou embutidos dentro do reboco;

- Todas as peças e acessórios de origem ferrosa, usados no SPDA, deverão ser galvanizadas a fogo ou banhadas com 254 micrometros de cobre. Fica assim proibida a zincagem eletrolítica;
- A ligação que era feita entre os anéis horizontais de cintamento e as caixas de equalização secundárias não deverá mais ser executada. Deverá ser instalada uma prumada vertical para interligar as caixas de equalização secundárias à caixa de equalização principal;
- O valor da resistência de aterramento de 10 ohms continua sendo recomendado, porém, em locais onde o solo apresente alta resistividade, poderão ser aceitos valores maiores, desde que sejam feitos arranjos que minimizem os potenciais de passo, e que os procedimentos sejam tecnicamente justificados;
- Nos SPDA estruturais que não utilizarem a barra adicional dedicada, deverão ser feitas medições de continuidade elétrica entre diversos pontos da estrutura, pois na maioria dos casos a execução não é acompanhada pelo responsável técnico do SPDA;
- Foi incluído um novo mapa de curvas isocerânicos da região sudeste com dados mais recentes;
- Todas as tabelas passaram a ser inseridas dentro do texto da norma.
- O módulo (mesh) da gaiola de Faraday foi aumentado para os níveis II, III e IV, de forma que o comprimento passa a ser o dobro da largura;
- O texto na nova norma deixa explícito que, caso o cálculo do número de descidas dê como resultado um número menor que 2, deverão ser instaladas mesmo assim, pelo menos 2 descidas para qualquer tipo de edificação. Postes metálicos não necessitam de descidas, podendo ter a sua estrutura aproveitada como descida natural;
- Nos casos onde for impossível a execução do anel de aterramento inferior dentro de valetas, deverá ser feito um anel de equalização a até 4 metros acima do nível do solo;
- Caso sejam utilizados cabos como condutores de descida, estes não poderão ter emendas (exceto a emenda no ponto de medição), nem mesmo com solda exotérmica. Para condutores de perfis metálicos, as emendas continuam permitidas;

- Foi retirada a exigência de se banhar com chumbo, as peças e acessórios usados no topo de chaminés;
- A norma reforça a exigência de se documentar toda a instalação, através de projetos e relatórios técnicos, e de se fazer as vistorias periodicamente;
- As descidas do SPDA deverão distar das tubulações de gás no mínimo 2 metros. Caso esse distanciamento não seja possível as tubulações deverão ser equalizadas a cada 20 metros de altura, diretamente no SPDA ou indiretamente através de DPS (Dispositivo de Proteção de Surtos) dependendo do caso;
- Em estruturas cobrindo grandes áreas com larguras superiores a 40 metros, são necessários condutores de descida no interior do volume a proteger (requisito que será naturalmente atendido no caso de estruturas metálicas ou com armaduras de aço interligadas).

5.7 EXEMPLO DE UM PROJETO UTILIZANDO AS VERSÕES DE 2005 E 2015

O estudo aqui proposto é de um galpão isolado localizado na área rural da cidade de Taubaté.

O projeto de SPDA contempla a instalação de componentes exclusivos para a capacitação e dissipação de descargas elétricas de origem atmosféricas. O sistema visa garantir segurança para a instalação predial e pessoas nas proximidades e interior da edificação.

5.7.1 PROJETO DE SPDA UTILIZANDO A ABNT NBR 5419 DE 2005: MEMORIAL DE CÁLCULO

Parâmetros da Edificação

C = Comprimento = 30 metros

L = Largura = 20 metros

A = Altura = 5 metros

Avaliação do Risco de Exposição

$A_e = \text{Área de exposição}$

$A_e = CL + 2CA + 2LA + 3,14 \times (A \times A)$

$A_e = 30 \times 20 + 2 \times 30 \times 5 + 2 \times 20 \times 5 + 3,14 \times 5^2$

$A_e = 1178,5 \text{ m}^2 \text{ ou } 0,0011785 \text{ km}^2$

Ng = Densidade de Descargas Atmosféricas para a terra

$N_g = 10,5 \text{ descargas por km}^2/\text{ano (segundo ELAT)}$

Frequência média anual previsível de descargas

$N_g = 10,5 \text{ descargas km}^2/\text{ano}$

$A_e = 1178,5 \text{ m}^2$

$N_d = N_g \times A_e$

$N_d = 10,5 \times 0,0011785 \text{ km}^2$

$N_d = 0,01237425 \text{ raios/ano para a cidade de Taubaté}$

$N_d = 12,374 \times 10^{-3}$

Fatores de Ponderação

$A = \text{Tipo de ocupação da Estrutura} = 0,7$

$B = \text{Tipo de construção da Estrutura} = 0,4$

$C = \text{Conteúdo da Estrutura} = 0,3$

$D = \text{Localização da Estrutura} = 2,00$

$E = \text{Topografia} E = 1,30$

Ndc = valor ponderado da frequência média anual

$$Ndc = Nd \times A \times B \times C \times D \times E \times$$

$$Ndc = 0,01237425 \times 0,7 \times 0,4 \times 0,3 \times 2 \times 1,3$$

$$Ndc = 0,0027025 \text{ raios/ano}$$

Parâmetros da Norma

Se $Ndc \geq E^{-3}$, a Estrutura requer proteção

Se $Ndc \leq E^{-5}$, a Estrutura não requer proteção

Se $E^{-3} > Ndc > E^{-5}$, a necessidade poderá ser discutida com o proprietário

Conclusão: Conforme o cálculo realizado a proteção da edificação não é necessário pois, como $Ndc = 0,0027025$, e $Ndc < E^{-3}$ a edificação NÃO requer um SPDA.

5.7.2 PROJETO DE SPDA UTILIZANDO A ABNT NBR 5419 DE 2015: MEMORIAL DE CÁLCULO

Segundo a NBR 5419-2015 primeiramente deve ser feito o gerenciamento de risco da proteção contra descargas atmosféricas, onde basicamente se calcula quais os riscos a que a edificação em questão está submetida determinando a necessidade de proteção e o método a ser aplicado para a proteção.

A corrente da descarga atmosférica é a fonte de dano. As seguintes situações foram levadas em consideração em função do ponto de impacto da descarga atmosférica. A Figura 31 apresenta os dados da estrutura, mesma utilizada no tópico 5.7.1 projeto NBR 5419 2005.

Figura 31: Dados da estrutura e meio ambiente

Parâmetros de entrada	Comentário	Símbolo	Valor
Densidade de descargas atmosféricas para a terra ($1/\text{km}^2/\text{ano}$)	Clique aqui para abrir o site de busca	<i>N_G</i>	10,5
Dimensões da estrutura (m)	Estudo com formato prismático simples - quadrado ou retângulo		
		<i>L</i>	30,00
		<i>W</i>	20,00
		<i>H</i>	5,00
	Caso a obra possua formas complexas, informe aqui o valor da área de exposição conforme A.2.1		0,00
Fator de localização da estrutura	Estrutura isolada: nenhum outro objeto nas vizinhanças	<i>C_D</i>	1,00000
SPDA instalado	Estrutura não protegida por SPDA	<i>P_B</i>	1,00000

Fonte: AUTOR (2018)

S1: Descargas atmosféricas na estrutura, podem causar:

a) Danos mecânicos imediatos, fogo e/ou explosão devido ao próprio plasma quente do canal da descarga atmosférica, ou devido à corrente resultando em aquecimento resistivo de condutores;

b) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos e à passagem de parte da corrente da descarga atmosférica;

c) Danos às pessoas por choque elétrico devido a tensões de passo e de toque resultantes de acoplamentos resistivos e indutivos;

d) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido a LEMP - Pulso eletromagnético devido às descargas atmosféricas.

S3: Descargas atmosféricas sobre as linhas elétricas e tubulações metálicas que adentram a estrutura, podem causar:

a) Fogo e/ou explosão iniciado por centelhamento devido a sobretensões e correntes das descargas atmosféricas transmitidas por meio das linhas elétricas e tubulações metálicas;

b) Danos a pessoas por choque elétrico devido a tensões de toque dentro da estrutura causadas por correntes das descargas atmosféricas transmitidas pelas linhas elétricas e tubulações metálicas;

c) Falha ou mau funcionamento de sistemas internos devido à sobretensões que aparecem nas linhas que entram na estrutura.

De acordo com a tabela 1 do tópico 2.4 (Riscos para os seres vivos e estruturas), o Edifício se enquadra na categoria de estabelecimento da área rural, os efeitos das descargas atmosféricas incluem: Risco maior de incêndio e tensões de passo perigosas, assim como danos materiais, risco secundário devido à perda de energia elétrica e risco de vida dos animais de criação devido à falha de sistemas de controle eletrônicos de ventilação e suprimento de alimentos, etc.

Em consequência, as descargas atmosféricas podem causar três tipos básicos de danos:

a) D1: danos às pessoas devido a choque elétrico;

b) D2: danos físicos (fogo, explosão, destruição mecânica, liberação de produtos químicos) devido aos efeitos das correntes das descargas atmosféricas, inclusive centelhamento;

c) D3: falhas de sistemas internos devido a LEMP.

Cada tipo de dano relevante para a estrutura a ser protegida, sozinho ou em combinações com outros, pode, em consequência, produzir diferentes perdas. O tipo de perda que pode ocorrer depende das características do próprio objeto.

Para o caso específico, segundo a ABNT NBR 5419, podem ocorrer seguintes tipos de perdas, os quais podem aparecer como consequência de danos:

a) L1: perda de vida humana em consequência de D1, D2 e D3;

b) L4: perda de valor econômico (estrutura e seu conteúdo, assim como interrupções de atividades) em consequência de D2 e D3.

O Risco, R, é um valor relativo a uma provável perda anual média. Para cada tipo de perda que pode aparecer na estrutura, o risco resultante deve ser avaliado.

Cada Risco, R, é a soma dos seus componentes de risco. Ao calcular um risco, os componentes de risco podem ser agrupados de acordo com as fontes de danos e os tipos de danos.

Os riscos a serem avaliados, neste caso, podem ser:

- a) R1: Risco de perda de vida humana (incluindo ferimentos permanentes);
- b) R4: Risco de perda de valores econômicos.

Os componentes de risco devido às descargas atmosféricas na estrutura:

- RA: Componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura e fora nas zonas até 3 m ao redor dos condutores de descidas.

- RB: Este componente é relativo a danos físicos causados por centelhamentos perigosos dentro da estrutura iniciando incêndio ou explosão, os quais podem também colocar em perigo o meio ambiente.

- RC: Componente relativo a falhas de sistemas internos causados por LEMP.

Os componentes de risco devido às descargas atmosféricas a uma linha conectada na estrutura são:

- RU: componente relativo a ferimentos aos seres vivos causados por choque elétrico devido às tensões de toque e passo dentro da estrutura.

- RV: componente relativo a danos físicos (incêndio ou explosão iniciados por centelhamentos perigosos entre instalações externas e partes metálicas geralmente no ponto de entrada da linha na

estrutura) devido à corrente da descarga atmosférica transmitida ou ao longo das linhas.

- RW: Componente relativo a falhas de sistemas internos causados por sobretensões induzidas nas linhas que entram na estrutura e transmitidas a esta.

A composição dos componentes de risco é calculada a partir da figura 20 e 21 e apresentada abaixo:

a) R1: Risco de perda humana:

$$R1 = Ra1 + Rb1 + Ru1 + Rv1$$

Observação: Não se considerou neste projeto a realização do comparativo custo/benefício para avaliação das perdas de valor econômico (Risco R4), em função de não se dispor das informações de custos referentes à estrutura em análise.

De acordo com a Tabela 15 do tópico 4.2.3, o risco tolerável RT para perda do tipo L1 é dado abaixo:

a) RT: 10^{-5}

O passo seguinte para determinação da necessidade de SPDA é o comparativo do Risco calculado com o Risco Tolerável RT, levando-se em consideração os seguintes aspectos:

- Se $R \leq RT$, a proteção contra descarga atmosférica não é necessária.
- Se $R > RT$, medidas de proteção contra descarga atmosférica devem ser adotadas no sentido de reduzir $R \leq RT$ para todos os riscos aos quais a estrutura está sujeita. A figura 32 apresenta os valores de R1 e o resultado da condição $R > RT$

Figura 32: Calculo de R1 e necessidade do SPDA

Combinções e Fonte de dano por descargas atmosféricas na: (Tab. 02)									Resultado			
	S1: Estrutura			S2: Perto da estrutura		S3: Na linha		S4: Perto da linha	Risco - "R"	Risco em decimal (20 casas)	"RT"	R>RT?
	RA	RB	RC	RM	RU	RV	RW	RZ				
R1=	2,95E-06	2,95E-05	-	-	4,20E-06	4,20E-05	-	-	7,862 E-5	0,00007861921390851650	1,00E-05	SIM
R2=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO
R3=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-04	NÃO
R4=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00000000000000000000	1,00E-03	NÃO

Fonte : AUTOR (2018)

Conclusão: Conforme o cálculo realizado a proteção da estrutura é necessário pois, como $R > RT$, portanto a estrutura requer um SPDA.

6. Conclusão

Os resultados obtidos foram de acordo com o esperado, evidenciando a importância da atualização da norma ABNT NBR 5419 para a versão de 2015. Desde 2005 ocorreram muitas alterações no meio ambiente, o que influenciou o aumento das descargas atmosféricas e o aumento exponencial de estruturas com a necessidade de SPDA. Neste projeto, foram verificados todos os dados relevantes para a realização de um projeto de sistema de proteção contra descargas atmosféricas. Foram analisados os critérios de projeto da versão do ano de 2005 ad ABNT NBR 5419, considerando-se todas as etapas para um projeto de SPDA. Posteriormente foi realizado um estudo na nova versão da ABNT NBR 5419, que entrou em vigor no ano de 2015. Após isso foi analisado as diferenças entre as duas versões, sempre destacando os dados mais significantes para realização do projeto de SPDA. Foi realizado um estudo de caso que evidenciou a importância deste tema , pois para uma mesma edificação que na norma de 2005 não necessitaria do SPDA, na norma de 2015 após os cálculos verificou a necessidade da proteção contra as descargas atmosféricas.

Referencias

- ANGELO, J. B. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas. 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- BRITTES, J. L. P.; RIBEIRO, J. E. Desempenho de Linhas de Transmissão que Utilizam Para-Raios de ZnO.
- CAIAFA, W. G. Um estudo sobre para-raios. 2009. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de ciências exatas departamento de engenharia elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- ABNT. NBR 5419:2015, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios Gerais. p. 67, 2015.
- ABNT. NBR 5419:2005, Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Packaging Boston Mass, Segunda ed, p. 42, 2005.
- ABNT. NBR 5419:2015, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 2: Gerenciamento de Risco. p. 104, 2015.
- ABNT. NBR 5419:2015, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida. p. 51, 2015.
- ABNT. NBR 5419:2015, Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 4: Sistemas elétricos e eletrônicos internos na estrutura. p. 87, 2015.
- ANDRADE, L. Memorial de Cálculo SPDA 5419:2015. 2016. QI SPDA. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/291270020/Memorial-de-Calculo-Spda-5419-2015>>.
- BENITEZ, C. Z. M. Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Conforme Norma NBR-5419/2005. Salvador: 2006. Monografia apresentada ao curso de engenharia elétrica, ÁREA 1, 2005.
- GOOGLE. Maps.google. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/maps>>.
- KINDERMANN, G. Descarga Atmosférica. 3. ed. Florianópolis:
- INPE. ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>>.
- MOREIRA, B. Nova norma para SPDA sai em 2015. O Setor Elétrico, Edição 104, p. 1–5, 2014.
- OLIVEIRA, J. B. de. A visão da nova ABNT NBR 5419 sobre os materiais.pdf. O Setor Elétrico, Edição 115, p. 2, 2015.

SILVA, J. C. d. O. e. Com vocês, a NBR5419-1. O Setor Elétrico, Edição 112, p. 1–4, 2015.

SILVEIRA, F. H. Modelagem para Cálculo de Tensões Induzidas por Descargas Atmosféricas. 268 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2006.

VISACRO, S. Aterramentos Elétricos. São Paulo: Editora Artliber, 2005.

VISACRO, S. Descargas Atmosféricas - Uma Abordagem de Engenharia. São Paulo: Editora Artliber, 2005.

FILHO, S. V. Aterramentos elétricos: conceitos básicos técnicas de medição e instrumentação filosofias de aterramento. São Paulo: Artliber, 2002.

FILHO, S. V. Descargas atmosféricas: uma abordagem de engenharia. São Paulo: Artliber, 2005.

ALTO QI. NBR 5419: principais mudanças e impacto em projetos de SPDA. Disponível em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/nbr-5419-principais-mudancas-impactoprojetos-spda/>>. Acesso em: 18 jun. 2016.